

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Dopravní technika a technologie

Posouzení změny součinitele adheze u plášťů určených
pro měkké povrchy

Assesment of Tires Adhesion Changes Designed for Soft
Surfaces

Student:

Jiří Tihelka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jakub Šmiraus

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Tihelka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: Posouzení změny součinitele adheze u plášťů určených pro měkké povrchy
Assessment of Tires Adhesion Changes Designed for Soft Surfaces

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Dosavadní stav metodiky pro posuzování zábrzdné vzdálenosti
- 3) Teoretické zhodnocení vhodnosti metodiky pro jednostopá vozidla
- 4) Experimentální vyhodnocení zábrzdné dráhy motocyklu
- 5) Interpretace výsledků měření a srovnání tabulkových hodnot součinitele adheze
- 6) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- 1) Vlk, F.: Teorie a konstrukce motocyklu 1. Brno: Nakladatelství VLK. 2004
- 2) Vlk, F.: Teorie a konstrukce motocyklu 2. Brno: Nakladatelství VLK. 2004
- 3) Ždánský, B., Jan, Z.: Automobily 1. Brno: Avid s.r.o. 2000
- 4) MATĚJKA, R.: Vozidla silniční dopravy I. Bratislava: VŠDS Žilina. Alfa Bratislava, 1981

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Šmíraus**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2015



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2015



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Tihelka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jeseník nad Odrou 271, Jeseník nad Odrou 742 33

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TIHELKA, J. Posouzení změny součinitele adheze u plášťů určených pro měkké povrchy: bakalářská práce, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 59 s. Vedoucí práce: Šmiraus, J.

Bakalářská práce se zabývá posouzením změny součinitele adheze u plášťů určených pro měkké povrchy. V úvodu je popsáno znění předpisů EHK OSN z hlediska brzdění u vozidel kategorie L a posuzování brzdných drah v soudním znalectví. Dále je objasněna teorie týkající se součinitele adheze. V dalším kroku je provedeno experimentální měření brzdné dráhy a výpočet součinitele adheze pro 5 různých povrchů. Nakonec jsou experimentálně naměřené hodnoty součinitele adheze porovnány s již používanými teoretickými tabulkovými hodnotami.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

TIHELKA, J. Assesment of Tires Adhesion Changes Designed for Soft Surfaces: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Transport, 2015, 59 p. Thesis head: Šmiraus, J.

This Bachelor thesis deals with the assessment of varying adhesion with tyres designed for soft surfaces. The introduction describes the wording of the UNECE regulations in relation to stopping distances to L category vehicles. The theory concerning coefficient of adhesion is explained in more depth. Next is the experimental measuring of braking distances and the measuring of adhesion coefficients of 5 different road surfaces. Finally these values are entered into a table of theoretical measurements.

OBSAH:

Seznam použitých symbolů	7
1. Úvod	9
2. Dosavadní stav metodiky pro posuzování zábrzdné vzdálenosti	10
2.1 Dle předpisů EHK pro homologaci vozidel kategorie L z hlediska brzdění	10
2.2 Dle soudního znalectví.....	17
2.3 Tření pneumatiky na vozovce	25
2.4 Odvalování kola po měkkém povrchu (plastickém podloží)	30
3. Teoretické zhodnocení vhodnosti metodiky pro jednostopá vozidla	31
3.1 Popis motocyklu	31
3.2 Popis pneumatik.....	32
3.3 Metoda a popis měření.....	33
3.4 Popis měřicího přístroje VBOX Mini	34
4. Experimentální vyhodnocení zábrzdné dráhy motocyklu	36
4.1 Tráva	36
4.2 Písek.....	39
4.3 Makadam	41
4.4 Mokrý asfalt.....	44
4.5 Suchý asfalt.....	45
4.6 Vyhodnocení zábrzdných drah	47
5. Interpretace výsledků měření a srovnání tabulkových hodnot součinitele adheze	48
5.1 Teoretický součinitel adheze	48
5.2 Výpočtový součinitel adheze	48
5.3 Skutečný součinitel adheze	49
5.4 Porovnání vypočtených a tabulkových hodnot součinitele adheze	51
6. Závěr	52
7. Poděkování.....	54
8. Seznam použité literatury	55
9. Seznam příloh	56
9.1 Tištěná příloha	56
9.2 Přílohy na CD	59

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

	Písmena latinské abecedy	Jednotka
a	Brzdné zpomalení	[m/s ²]
c _x	Součinitel odporu vzduchu	[-]
DOT	Department of transportation	[-]
EHK OSN	Evropská hospodářská komise, Organizace spojených národů	[-]
f	Součinitel tření	[-]
f, f ₀	Součinitel valivého odporu	[-]
F _b	Brzdná síla	[N]
F _G	Tíhová síla	[N]
FIM	Federation of international motorcycling	[-]
F _N	Normálová síla	[N]
F _S	Síla tření	[N]
F _T	Třecí síla	[N]
g	Tíhové zrychlení	[m/s ²]
GPS	Global position systém - Globální triangulační systém	[-]
h	Bezrozměrný koeficient	[-]
K	Součinitel adheze	[-]
m	Hmotnost	[kg]
O _f	Odpor valení	[N]
O _v	Odpor vzduchu	[N]
p	Tlak huštění pneumatiky	Pa
p _s	Střední tlak	Pa
R	Rychlostní symbol	[km/h]
s	Dráha	[m]
s _b	Brzdná dráha	[m]
S _x	Čelní plocha vozidla	[m ²]
t	Čas	[s]
TT	Tube type – dušové provedení	[-]
V	Rychlost, Koncová rychlost, Náporová rychlost	[km/h]
V ₀	Počáteční rychlost	[km/h]
V _{max}	Maximální rychlost	[km/h]
V _s	Kluzný rychlost	[km/h]
V _x	Náporová rychlost	[m/s]
Z	Poměrné brzdné zpomalení	[m/s ²]

Z_m	Největší brzdné zpomalení s protiblokovacím zařízením mimo činnost	$[m/s^2]$
Z_{max}	Největší poměrné brzdné zpomalení	$[m/s^2]$

	Písmena řecké abecedy	Jednotka
μ_m	Maximální hodnota tření	$[-]$
μ_s	Koeficient statického tření, Vypočtený skutečný součinitel adheze	$[-]$
α	Sklon trasy	$[^\circ]$
ε	Využití adheze	$[-]$
μ	Součinitel adheze	$[-]$
μ_v	Výpočtový součinitel adheze	$[-]$
$\mu_{x \max}$	Maximální využitelná adheze ve směru X	$[-]$
$\mu_{y \max}$	Maximální využitelná adheze ve směru Y	$[-]$
ρ	Hustota vzduchu	$[kg/m^3]$

1. ÚVOD

Problematikou práce je posuzování změny součinitele adheze u plášťů určených pro měkké povrchy u motocyklů. Cílem práce je zjistit hodnoty součinitele adheze zkoušených pneumatik v reálných podmínkách na různých površích a porovnat je s již používanými teoretickými hodnotami součinitele adheze. Předpokládá se, že při použití „off-roadových“ pneumatik bude hodnota součinitele adheze na asfaltu nižší než hodnota teoretická a na měkkém povrchu jako je tráva a písek bude hodnota součinitele adheze naopak vyšší.

V úvodní části práce bude popsána metodika zjišťování zábrzdných vzdáleností dle metod EHK OSN a soudního znalectví. Bude uvedena tabulka hodnot součinitele adheze, které tyto metody používají. Bude zhodnocena vhodnost těchto používaných metodik a zdůrazněny nedostatky, které v této problematice nastávají.

V teoretické rešerši bude popsáno tření a jeho hlavní složky. Následně bude vysvětlen pojem adheze a objasněny vlivy, které součinitel adheze ovlivňují.

V praktické části práce bude uveden postup měření brzdných drah, který vychází z jednotných ustanovení EHK, zhotoven popis povrchů, popis motocyklu Yamaha YZ 250F a použitých pneumatik věnovaných společností MITAS a.s., popis použitého měřicího přístroje VBOX Racelogic a způsob výpočtů součinitelů adheze. Bude provedena interpretace naměřených brzdných drah a následně z nich vypočten součinitel adheze pro daný povrch.

V konečné části práce bude vyhodnocena hypotéza a shrnutí výsledků měření, které mohou být užitečné v praxi.

2. DOSAVADNÍ STAV METODIKY PRO POSUZOVÁNÍ ZÁBRZDNÉ VZDÁLENOSTI

Z hlediska posuzování zábrzdne vzdálenosti se používají dva hlavní typy metod a to dle předpisů OSN EHK (Organizace spojených národů, Evropská hospodářská komise) nebo dle soudního znaleství, ve kterém je rovněž použito mnoho z předpisů EHK. Jelikož je tato práce zaměřená na posouzení součinitele adheze u motocyklu, rozvedu zde znění předpisů týkajících se jednostopých vozidel a dosavadní metodiku posuzování zábrzdne vzdálenosti při nehodách v soudním znaleství.

2.1 Dle předpisů EHK pro homologaci vozidel kategorie L z hlediska brzdění

Zkoušky brzdění

Všeobecně:

Účinek předepsaný pro brzdové soustavy je založen na brzdne dráze. Účinek brzdové soustavy se stanoví buď podle naměřené brzdne dráhy vztažené k počáteční rychlosti anebo podle naměřené doby náběhu brzdění soustavy a středního plného brzdneho zpomalení.

Brzdna dráha je dráha, kterou vozidlo ujede od okamžiku, kdy řidič začne působit na ovládací orgán, až do okamžiku, kdy se vozidlo zastaví. Počáteční rychlost je rychlost v okamžiku, kdy řidič začne působit na ovládací orgán. V dále uvedených vzorcích pro měření účinků brzd mají symboly následující význam:

V = počáteční rychlost, vyjádření v $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

S = brzdna dráha, vyjádřena v metrech

Pro homologaci motorového vozidla se měří účinek při zkouškách; tyto zkoušky se musí vykonat za následujících podmínek:

Vozidlo musí odpovídat podmínkám pro hmotnost, předepsaným pro každý typ zkoušky; tyto podmínky se musí uvést v protokolu o zkoušce.

Zkouška se musí vykonat z rychlostí a způsobem, které jsou předepsány pro každý typ zkoušky. Jestliže je nejvyšší rychlost vozidla nižší než předepsaná rychlost, vykoná se zkouška dle stanovených zvláštních alternativních podmínek.

Předepsaného účinku se musí dosáhnout bez blokování kola (kol), bez vybočení vozidla z vytyčené trajektorie a bez abnormálních vibrací.

Síla vyvozená na ovládací orgán během zkoušky k dosažení předepsaného účinku nesmí překročit nejvyšší hodnotu stanovenou pro zkoušku příslušné kategorie vozidla.

Podmínky zkoušky

Zkoušky provozního brzdění se musí vykonat za následujících podmínek. Na počátku zkoušky nebo série zkoušek musí pneumatiky být studené a nahuštěné na tlak, předepsaný pro zatížení skutečně nesené koly ve statických podmínkách. Když se zkouší naložené vozidlo, musí být hmotnost nákladů rozložena na vozidle dle ustanovení výrobce.

Při všech zkouškách typu 0 brzdy musí být studené – brzda je považována za studenou, jestliže teplota, měřená na disku nebo na vnějšku bubnu, je nižší než 100°C.

Řidič musí sedět na sedle jako za normálních podmínek řízení vozidla a musí udržovat stejnou polohu v celém průběhu zkoušky.

Zkušební plocha musí být rovinná, suchá a mít povrch s dobrými adhezními vlastnostmi.

Zkoušky se smějí konat, jen pokud vítr nemůže ovlivnit výsledky.

Zkouška typu 0 (provozní brzdění)

Všeobecná ustanovení

Limity předepsané pro účinek provozního brzdění jsou stanoveny pro každou kategorii vozidla.

Zkouška typu 0 s odpojeným motorem

Zkouška se musí vykonat z rychlosti uvedené pro každou kategorii vozidel; pro číselné hodnoty této rychlosti je přípustná určitá tolerance. V případě vozidel, u nichž dvě provozní brzdy mohou být ovládány každá zvlášť, zkouší se brzdové soustavy každá zvlášť. Pro každou brzdovou soustavu se musí dosáhnout brzdného účinku předepsaného pro příslušnou kategorii vozidla.

U vozidla s ručně řazenou převodovkou nebo s automatickou převodovkou, u níž lze převodovku ručně odpojit, zkoušky se vykonají s motorem odpojeným vypnutím spojky nebo jinak.

U vozidla s jiným druhem automatických převodů se zkoušky vykonají v normálních provozních podmínkách.

Zkouška typu 0 se zapojeným motorem pro vozidla kategorie L_3 , L_4 , a L_5

Zkoušky se musí vykonat s nenaloženým vozidlem a z různých rychlostí, z nichž nejnižší je rovna 30% maximální rychlosti vozidla a nejvyšší se rovná 80% maximální rychlosti vozidla nebo $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, podle toho, která hodnota je nižší.

Měří se hodnoty maximálních brzdných účinků, které, zároveň se záznamem o chování vozidla, se uvedou ve zkušebním protokolu.

V případě, kdy dvě soustavy pro provozní brzdění mohou být ovládány každá zvlášť, obě tyto brzdové soustavy se zkoušejí jako celek zároveň, s nenaloženým vozidlem.

Zkouška typu 0 s odpojeným motorem a s mokřými brzdami

Tato zkouška se musí vykonat (až na výjimku obsaženou v následujícím odstavci) s vozidly kategorií L_1 , L_2 , a, L_3 , a L_4 . Průběh zkoušky je totožný s průběhem zkoušky typu 0 s odpojeným motorem, avšak navíc platí zvláštní ustanovení pro namáčení brzd.

Zvláštní ustanovení pro zkoušky mokřých brzd

- a) Uzavřené brzdy: Není nutné vykonat tuto sérii zkoušek typu 0 s vozidly vybavenými obvyklými bubnovými brzdami nebo zcela uzavřenými kotoučovými brzdami, do nichž nevniká voda za normálních provozních podmínek.

Zkoušky mokřých brzd se vykonají za stejných podmínek jako zkoušky se suchými brzdami. Neprovede se žádné seřízení ani změna na brzdové soustavě jiná než montáž zařízení, které umožňuje smáčet brzdy.

- b) Zkušební přípravek musí smáčet brzdy kontinuálně v průběhu každé zkušební jízdy, a to výtokem vody $145 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ pro každou brzdu. Dvě kotoučové brzdy namontované na tomtéž kole se pokládají za dvě brzdy.

- c) U kotoučových brzd, které jsou zcela nebo zčásti odkryté, musí být předepsané množství vody vrháno na otáčející se kotouč tak, aby voda rovnoměrně pokrývala povrchy kotouče, jež jsou ve styku s brzdovým obložením.
- d) U kotoučových brzd zcela odkrytých musí být voda vrhána na příslušné plochy kotouče v místě, které je o 45° před brzdovými obloženými.

U kotoučových brzd částečně odkrytých musí být voda vrhána na příslušné plochy kotouče v místě, které je o 45° před krytem nebo deflektorem.

Voda musí být vrhána na příslušné plochy kotouče kontinuálním proudem, ve směru kolmém na povrch kotouče, z trysek vytvářejících každá jediný paprsek vody a umístěných tak, aby byly v bodě ležícím mezi vnitřním okrajem a bodem, který je ve dvou třetinách vzdálenosti od vnějšího okraje té části kotouče, jež je ve styku s brzdovým obložením (viz vyobrazení v dodatku).

U kotoučových brzd úplně krytých, pro které se neužije ustanovení odstavce a), musí být voda vrhána na obě strany krytu nebo deflektoru v místě a způsobem odpovídajícím tomu, jak je to popsáno v odstavci d) této přílohy. V případě, že by tryska přišla k ventilačnímu nebo kontrolnímu otvoru, je nutno, aby proud vody dopadal v místě o čtvrt otáčky před uvedeným otvorem.

Pokud při zkoušce podle předchozích odstavců b) a c) není možné vrhat vodu na uvedené místo, protože tomu překáží některá pevná část vozidla, voda se vrhá na první místo, které je za stanovenou polohou 45°, kam může dopadat nepřerušovaný proud.

U bubnových brzd, pro které se neužije ustanovení odstavce a), musí být předepsané množství vody rovnoměrně rozděleno na obě strany brzdového ústrojí (tj. na nepohyblivý štít brzdy a na otáčející se buben), a to tryskami, které jsou umístěny tak, aby se nalézaly ve dvou třetinách vzdálenosti od vnějšího obvodu bubnu k náboji kola.

Při zajištění požadavků předchozího odstavce a zároveň se splněním požadavků, aby žádná tryska nebyla blíže než 15° k ventilačnímu nebo kontrolnímu otvoru na štítu

brzdy, zkušební přípravek pro bubnové brzdy se umístí tak, aby docházelo k optimálnímu nepřerušovanému ostřikování vodou.

Aby se zajistilo správné smáčení brzdy (brzd), vozidlo musí ujet, bezprostředně před začátkem série zkoušek:

- se zařízením pro ostřikování plynule pracujícím, jak je předepsáno v této příloze,
- s předepsanou zkušební rychlostí,
- bez použití brzdové soustavy (brzdových soustav), která (-é) se bude (-ou) zkoušet, vzdálenost ne kratší než 500m k místu, kde se budou konat zkoušky.

Zkouška typu I (zkouška slábnutí brzdného účinku)

Zvláštní ustanovení

Provozní brzdy všech vozidel kategorie L₃, L₄ a L₅ musí se zkoušet řadou následných brzdění s naloženým vozidlem dle podmínek stanovených dále. U vozidel s kombinovaným brzdovým systémem postačí podrobit zkoušce typu I tuto soustavu pro provozní brzdění.

Zkouška typu I se musí vykonat ve třech částech:

- e) Jedna zkouška typu 0 dle požadavků odstavců h) nebo i) této přílohy
- f) Série 10 opakovaných zabrzdění vykonaných dle požadavku odstavce g).

Jedna zkouška typu 0, vykonaná za týchž podmínek (a zejména s ovládací silou co nejvíce konstantní jak jen je možné a jejíž hodnota není větší než střední hodnota síly skutečně použité ve zkoušce dle odstavce e)) jako pro zkoušku dle odstavce e), a to co nejdříve po ukončení zkoušky specifikované v odstavci f), v každém případě však do jedné minuty od tohoto ukončení.

g) Podmínky zkoušky

Vozidlo a brzda (brzdy), která (-é) se bude (-ou) zkoušet, musí být prakticky suché a brzda (-y) musí být studená (-é). Brzda se podkládá za studenou, pokud teplota naměřená na kotouči nebo na vnějšku bubnu je nižší než 100°C.

Počáteční rychlost musí být:

- pro zkoušky přední brzdy (předních brzd) nižší z hodnot: 70% maximální rychlosti vozidla a 100 km·h⁻¹

- pro zkoušky zadní brzdy (zadních brzd) nižší z hodnot: 70% maximální rychlosti a 80 km·h⁻¹
- pro zkoušky kombinovaného brzdového systému nižší z hodnot: 70% maximální rychlosti vozidla a 100 km·h⁻¹.

Vzdálenost mezi místem začátku jednoho brzdění a místem začátku následujícího musí být 1000 m.

Užití převodovky a/nebo spojky musí být následující:

U vozidla s ručně řazenou převodovkou nebo s automatickou převodovkou, kterou lze ručně odpojit, musí být během brzdění zařazen nejvyšší rychlostní stupeň umožňující dosáhnout počáteční zkušební rychlost.

Když rychlost vozidla poklesne o 50% počáteční zkušební rychlosti, motor se odpojí.

U vozidla s plně automatickým převodem se zkouška vykoná za normálních provozních podmínek pro takové zařízení.

Pro najíždění se použije rychlostní stupeň vhodný pro počáteční zkušební rychlost.

Po každém zabrzdění se vozidlo ihned maximálně urychlí do dosažení počáteční zkušební rychlosti a na této rychlosti se udržuje až do začátku následujícího brzdění. Pokud je potřebné, lze před urychlením vozidlo na zkušební dráze otočit.

Síla, kterou se působí na ovládací orgán, musí se přizpůsobit tak, aby se udržovala menší z těchto hodnot: střední zpomalení 3 m·s⁻² nebo maximální zpomalení dosažitelné zkušební brzdou, v obou případech při prvním brzdění; tato síla musí pak zůstat konstantní v průběhu následujících brzdění požadovaných dřívějším odstavcem f).

Účinky brzdových zařízení

- h) Pro účely zkoušky zbývajících brzdňeho účinku při zkoušce typu I (vozidla kategorií L₃ a L₄ je nutno zaznamenat zjištěné účinky vyjádřené brzdňými drahami, středním plným zpomalením a rovněž použitou ovládací sílu.
- i) Brzdění pouze kombinovaným brzdovým systémem

Tabulka 1: Brzdná dráha a odpovídající střední plné zpomalení[1]

Kategorie vozidla	Brzdná dráha (S), [m]	Odpovídající střední plné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
L ₁ , L ₂	$S \leq 0,1 \cdot V + V^2 / 115$	4,4
L ₃	$S \leq 0,1 \cdot V + V^2 / 132$	5,1
L ₄	$S \leq 0,1 \cdot V + V^2 / 140$	5,4
L ₅	$S \leq 0,1 \cdot V + V^2 / 130$	5,0

Určení součinitele adheze (K)

Součinitel adheze se určí z největšího poměrného brzdného zpomalení, bez zablokování kol, s odpojeným (-mi) protiblokovacím (-ími) zařízením (-ími) a při brzdění obou kol zároveň.

Zkoušky brzdění se musí vykonat při uvedení brzd do činnosti při počáteční rychlosti přibližně $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (nebo u vozidel, která nemohou dosáhnout $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, při rychlosti přibližně $0,9 V_{\max}$), s nenaloženým vozidlem (s výjimkou nutného přístrojového vybavení pro zkoušky a/nebo vybavení zajišťujícího bezpečnost). Ovládací síly pro brzdění se musí udržovat konstantní po celou dobu zkoušek.

Může se vykonat série zkoušek až ke kritickému bodu bezprostředně před blokováním kola (kol), přičemž se určí brzdné síly na předním a zadním kole, aby se určilo největší poměrné brzdné zpomalení vozidla.

Poměrné brzdné zpomalení (Z) se určí s uvažováním času potřebného pro snížení rychlosti ze $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ dle rovnice (1.1.1), zdroj [1].

$$Z = \frac{0,56}{t} \quad (2.1.1)$$

Kde:

Z – poměrné brzdné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

t – čas [s]

U vozidel, která nemohou dosáhnout rychlosti $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, se poměrné brzdné zpomalení určí s uvažováním času potřebného pro snížení rychlosti vozidla z $0,8 V_{\max}$ na $(0,8 V_{\max} - 20)$, kde V_{\max} je vyjádřeno v $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. Největší hodnota $Z=K$.

Určení využití součinitele adheze (ε)

Využití součinitele adheze je definováno jako podíl největšího poměrného brzdného zpomalení s protiblokovacím zařízením v činnosti (Z_{\max}) a největšího poměrného brzdného zpomalení s protiblokovacím zařízením mimo činnost (Z_m). Pro každé kolo vybavené protiblokovacím zařízením se musí vykonat zkoušky zvlášť.

Z_{\max} se vypočte jako průměr ze tří zkoušek s uvažováním časů pro snížení rychlostí.[1]

Využití adheze je dáno výrazem (1.1.2), zdroj [1].

$$\varepsilon = \frac{Z_{\max}}{Z_m} \quad (2.1.2)$$

Kde:

ε – využití adheze [-]

Z_{\max} – největší poměrné brzdné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Z_m – největší brzdné zpomalení s protiblokovacím zařízením mimo činnost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

2.2 Dle soudního znalectví

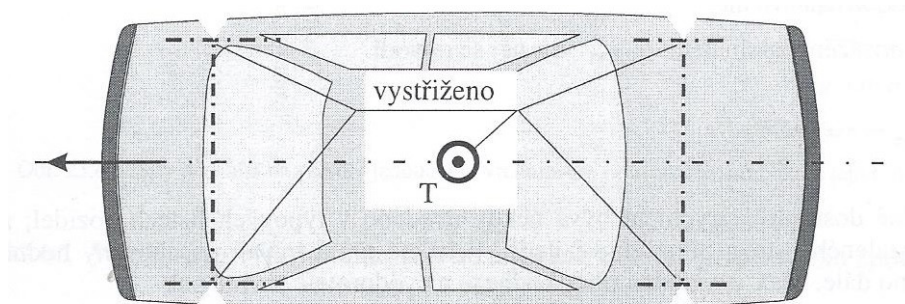
V oboru soudního znalectví se nehody jednostopých vozidel vyhodnocují několika způsoby. Nejpoužívanějšími způsoby jsou měření brzdné dráhy vozidla, vymrštění řidiče či posádky vozidla, deformace deformačních zón vozidla a další.

a) Brzdná dráha s_b ev. délka analyzovaných úseků

V soudním znalectví se brzdná dráha z většiny zjišťuje přímo měřením délky zanechaných brzdných. ev. blokovacích stop na vozovce. Tato hodnota brzdné dráhy může být tedy jednou ze známých veličin. V případě, kdy měříme brzdnou stopu je třeba místo pečlivě zkontrolovat, protože se může stopa ztrácet a bývá tak dosti nezřetelná. U zakřivených stop a rotace vozidla je také důležité dokumentovat jejich průběh z důvodu případné detailní rekonstrukce. Pokud je to na místě možné, je třeba zaznamenat, které kolo vytvořilo danou stopu.

Při výpočtu po částech (např. pohyb před a po střetu) se dosazuje jako veličina dráha těžiště, nikoliv délka stop, protože tak může dojít ke zkreslení délky jednotlivých úseků. Ze zatížení přední a zadní nápravy lze zjistit podélná poloha těžiště vozidla pomocí rovnováhy momentů a sil působících na vozidlo.

Pokud jsou ve/na vozidle umístěna zavazadla, je nutno zohlednit jestli jsou před nebo za nápravou a podle toho určit znaménko posledního členu.



Obr. 1 Plošný model vozidla pro odvození pohybu po zanechaných stopách

Zdroj:[2]

b) Analýza nehod motocyklů

Při analýze nehod za účasti motocyklu je na místě zohlednit následující:

- dlouhá, rovná stopa byla vytvořena s jistotou zadním kolem; pokud nebyla v činnosti i brzda předního kola, je rozsah zpomalení (na suché vozovce) mezi 3,0 až 4,5 m/s²;
- pouhá zadní brzda znamená využití tíhy pro brzdění asi 36%; je-li i spolujezdec, pak 40%. Pouze přední brzda 70%, resp. 60 %;
- při brzdění oběma brzdami 6 až 9 m/s² (na suché vozovce);
- při brzdění zablokování zadního kola je možné ještě udržovat stabilitu, při zablokování předního nastává pád;
- u kotoučových brzd bez otvorů nastává při mokrém počasí prodleva do odstranění vodního filmu;
- začátečníci, zvyklí ze staršího jízdního kola nebo z automobilu brzdí pouze nohou používají převážně zadní brzdou, než se časem naučí využívat i účinnější přední;
- nejúčinnějšího brzdění bylo při zkouškách dosaženo při zablokování zadního kola a dávkování brzdě síly na přední kolo (není zřejmě v lidských schopnostech přiměřeně dávkovat sílu na obě brzdy současně);
- přilba řidiče omezuje výhled a slyšitelnost. [2]

c) Tření

Síly na styku vozovky s kolem vycházejí z Coloumbova zákona o síle tření.

$$F_T = F_N \cdot f \quad (2.2.1)$$

Kde:

F_T – síla tření [N], součet sil tření na styku jednotlivých kol s vozovkou

F_N – normálová síla kolmá k podložce [N], na vodorovné vozovce rovna síle tíhové

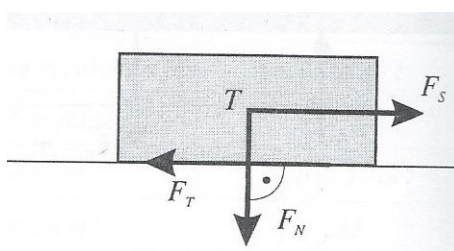
$$F_N = F_G = m \cdot g \quad (2.2.2)$$

Kde:

g – tíhové zrychlení [$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]

f – součinitel tření [-], při styku otáčejícího se kola s vozovkou bývá používán pojem součinitel adheze (přilnavosti) s označením μ , vztah má pak podobu:

$$F_T = F_N \cdot \mu \quad (2.2.3)$$

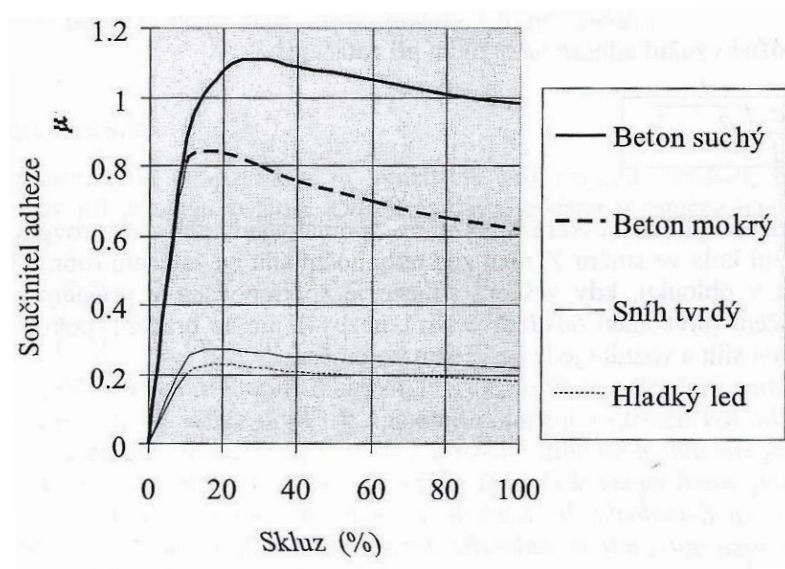


Obr. 2 Třecí a normálová síla

Zdroj: [2]

d) Součinitel adheze pneumatiky na vozovce je závislý na:

- jakosti a stavu povrchu vozovky,
- jakosti a stavu povrchu pneumatiky,
- rychlosti jízdy,
- poměrech ve stopě kola, především na velikosti skluzu (skluz – pomalejší otáčení kola, než by odpovídalo rychlosti pohybu obvodu kola při dané rychlosti a dynamickém poloměru kola) [2]

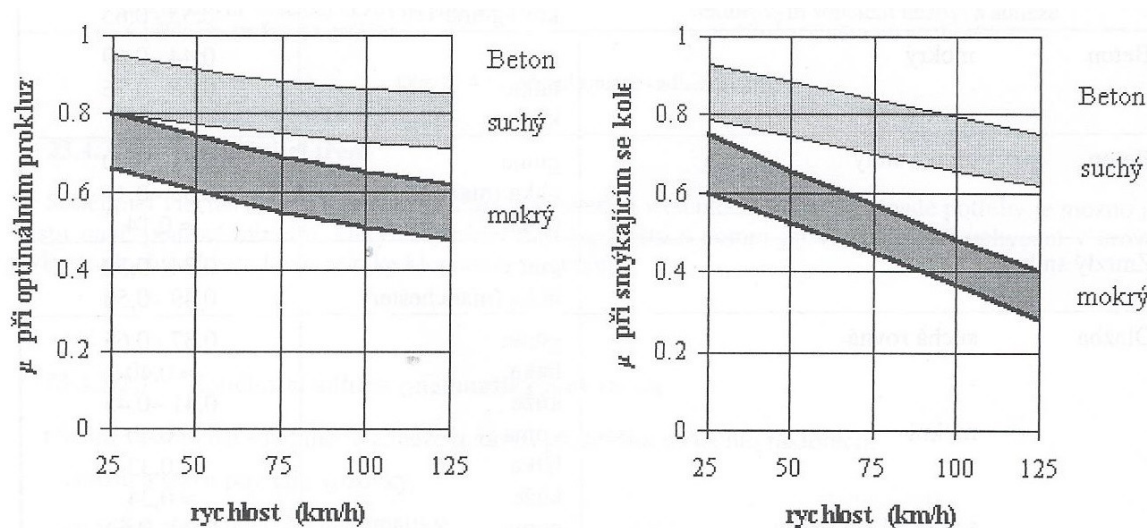


Graf 1 Vliv skluzu kola na součinitel adheze

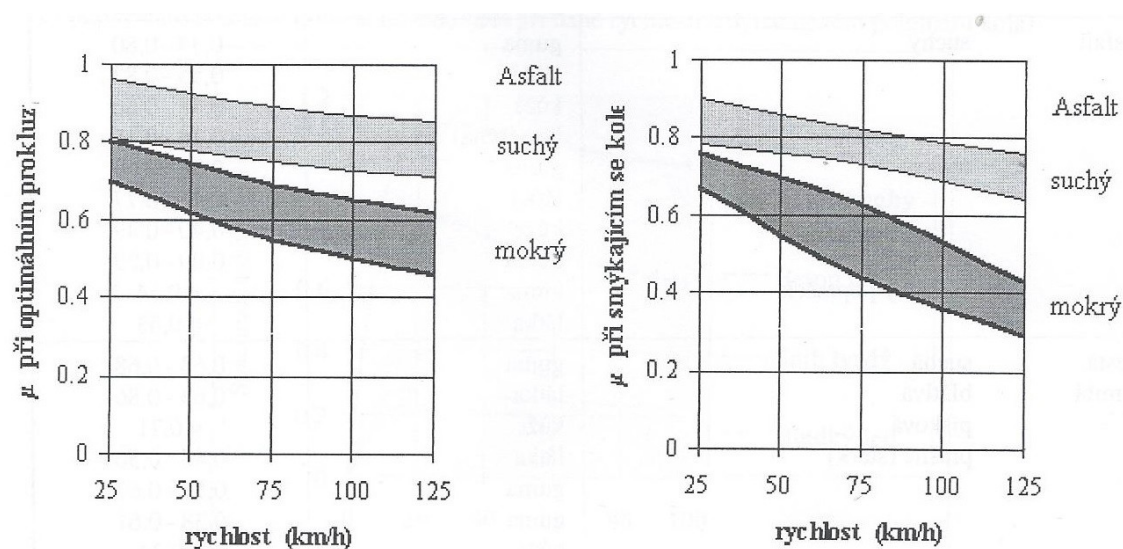
Zdroj: [2]

V normálních podmínkách se hodnota součinitele tření pneumatiky pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,9. Na grafu 1 však můžeme vidět hodnotu součinitele tření pneumatiky přesahující 1, to je možné ve výjimečných případech, např. u závodních pneumatik pro automobily jako Formule 1 či Nascar, které jsou vyráběné z velice měkké pryže s hladkou plochou běhounu, tj. bez dezénu tzv. slicky. Při optimálních podmínkách, kdy je pneumatika dostatečně zahřátá a vozovka je suchá a hladká, se hodnota součinitele adheze výrazně zvětšuje, až na hodnotu 2,5. V tomto případě můžeme mluvit až o „lepivosti pneumatik“, které mají výrazně nižší životnost.

Nejvyššího součinitele adheze pneumatika dosahuje v momentě, kdy dochází k optimálnímu skluzu vůči vozovce. Pokud je tato optimální hodnota skluzu překročena, velikost součinitele adheze klesá až na 100 % skluzu, tedy kolo se vůbec neotáčí a dochází ke smyku. Skluzem rozumíme rozdíl mezi rychlostí kola a rychlostí vozidla vztažený na rychlost vozidla při brzdění. Průběh je graficky znázorněn na grafu č. 2 pro povrch beton, pro povrch asfalt na grafu č. 3, zdroj grafů [2].



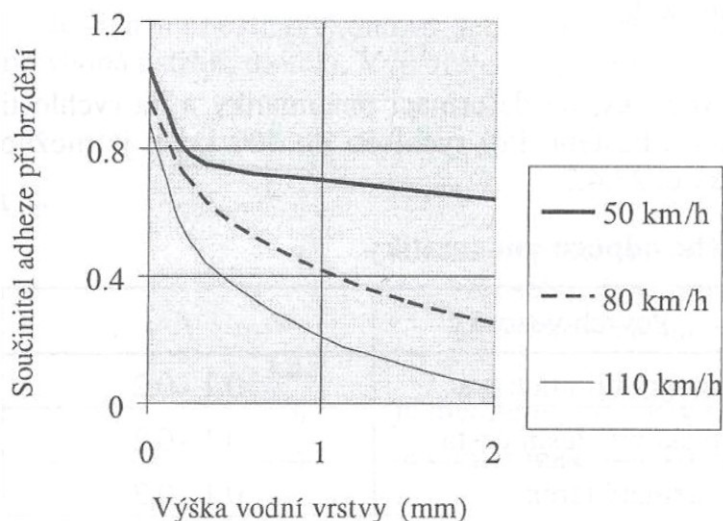
Graf 2 Vliv rychlosti na součinitel adheze – beton, optimální prokluz (vlevo), smýkající se kolo (vpravo)



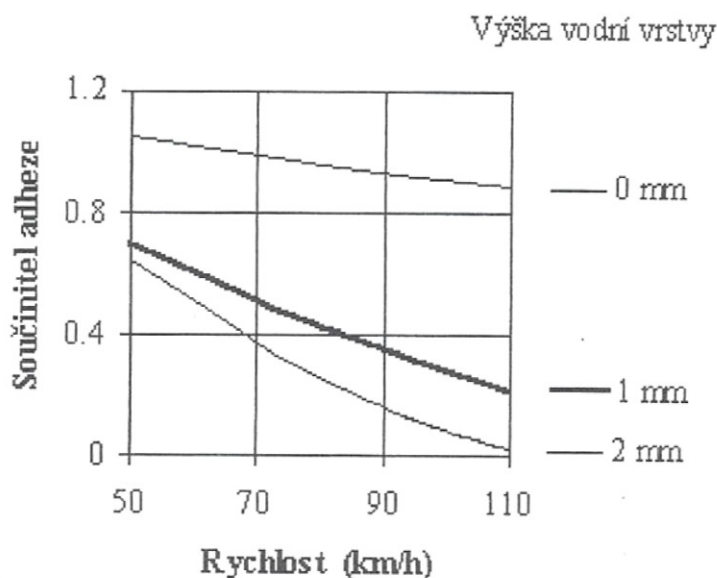
Graf 3 Vliv rychlosti na součinitel adheze – asfalt, optimální prokluz (vlevo), smýkající se kolo (vpravo)

Z grafu 2 a 3 je vidět, že rychlost má na součinitel adheze určitý vliv. Hodnota součinitele adheze klesá se zvětšující se rychlostí, s tím je potřeba počítat hlavně při brzdění. Pokles je ale zřejmý jen u mokrého nebo znečištěného povrchu. Na suchém povrchu vozovky je součinitel adheze nezávislý na absolutní rychlost a ovlivňuje ho míra skluzu pneumatiky po povrchu vozovky.

Významným vlivem na velikost součinitele adheze má také výška vrstvy vody na vozovce. Pokud je vodní sloupec vyšší než výška dezénu pneumatiky a voda se nestačí odvádět, dochází k tzv. aquaplaningu, kdy se kolo nepohybuje přímo po vozovce, ale po vodě. V tomto případě se vlečné tření mění v kapalinové s velmi malým součinitelem tření a síla ve stopě je tak velmi malá. Vliv výšky vody a rychlosti pohybu na součinitel adheze je vyobrazen na grafu č. 4 a 5.



Graf 4 Vliv výšky vodní vrstvy ve stopě na součinitel adheze



Graf 5 Vliv rychlosti při různé výšce vodní vrstvy ve stopě na součinitel adheze

Zdroj: [2]

e) Hodnoty součinitele adheze μ na různém povrchu:

V tabulce 2 jsou vypsány hodnoty součinitele adheze μ pro různé povrchy používané v soudním znalectví.

Tabulka 2: Součinitel adheze na různém povrchu

Povrch vozovky		μ	Povrch vozovky		μ
beton	suchý	0,8 – 1,0	polní cesta	suchá	0,4 – 0,6
	mokrý	0,5 – 0,8		mokrá	0,3 – 0,4
asfalt	suchý	0,6 – 0,9	tráva	suchá	0,4 – 0,6
	mokrý	0,3 – 0,8		mokrá	0,2 – 0,5
dlažba	suchá	0,6 – 0,9	hluboký písek, sníh		0,2 – 0,4
	mokrá	0,3 – 0,5	náledí	0°C	0,05 – 0,10
makadam	suchý	0,6 – 0,8		-10°C	0,08 – 0,15
	mokrý	0,3 – 0,5		-20°C	0,15 – 0,20

Zdroj: [2]

Adhezní sílu vozidla uvažujeme jako součet adhezních sil jednotlivých kol. I když jsou bržděna všechna kola, je třeba respektovat dynamické zatížení náprav (zejména změnu vlivem klopného momentu) a na základě toho rozdělování brzdných sil mezi nápravy. Při rozjezdu vozidla je možno uvažovat adhezní síly jen u poháněných náprav (nápravy).[2]

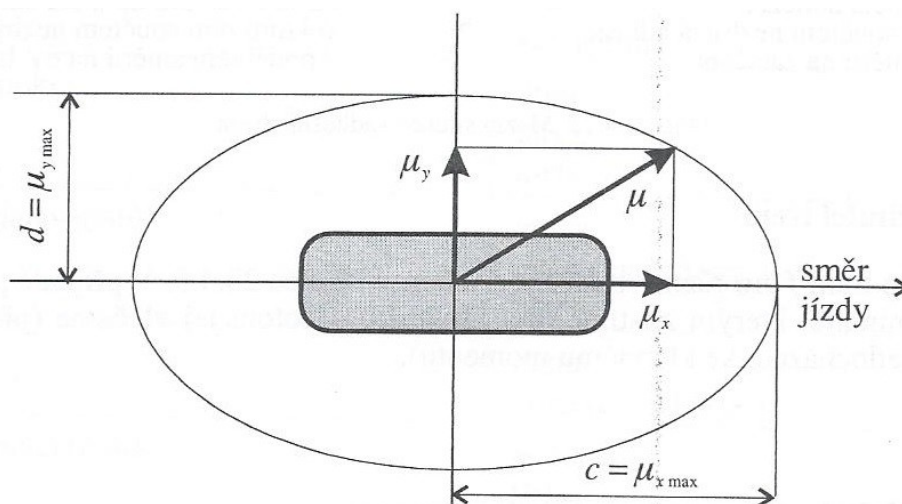
f) Adhezní elipsa

Adhezní síla ve styku s vozovkou je využívána v podélném směru (tj. ve směru podélné roviny otáčení kola) na rozjezd a brždění, ve směru kolmém pak na boční vedení. Tato síla je ovšem jen jedna; její rozdělení na složku podélnou a příčnou určuje tzv. adhezní elipsa, která udává maximálně využitelnou součtovou adhezi v požadovaném směru.

Poloosy této elipsy tvoří maximální využitelná adheze v podélném směru X a příčném směru Y. Zobrazeno na obr. č. 3, zdroj [2].

$$\mu_{x \max} = c$$

$$\mu_{y \max} = d$$



Obr. 3 Adhezní elipsa

Využití adheze na styku kola s vozovkou je dáno vektorovým součtem využití adheze ve směru podélném (μ_x) a ve směru příčném (μ_y). Tento součet nemusí dosahovat mezní hodnoty μ , dané adhezní elipsou; nemůže ji však překročit.

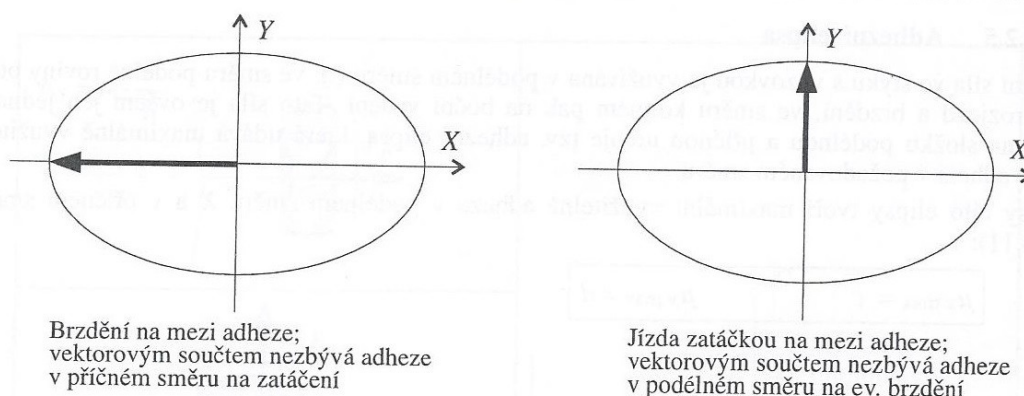
Rovnice adhezní elipsy je:

$$\frac{\mu_x^2}{c^2} + \frac{\mu_y^2}{d^2} = 1 \quad (2.2.4)$$

Z toho nejvyšší možné využití adheze na brzdění při zatáčení:

$$\mu_x = \frac{c}{d} \sqrt{d^2 - \mu_y^2} \quad (2.2.5)$$

Pokud je při brzdění využita veškerá adheze na zpomalování, pak vektorovým součtem nezbývá teoreticky nic na vedení kola ve směru Y, není zde tedy boční síla na zatáčení (obr. 4). Naopak při jízdě mezní rychlostí v oblouku, kdy veškerá adheze je spotřebována v příčném směru na vyvození dostředivé síly k zatáčení (překonání odstředivé síly), nezbývá nic na brzdění; pokud se zabrzdí, pak již není dost na dostředivou sílu a vozidlo jede po větším poloměru.[2]

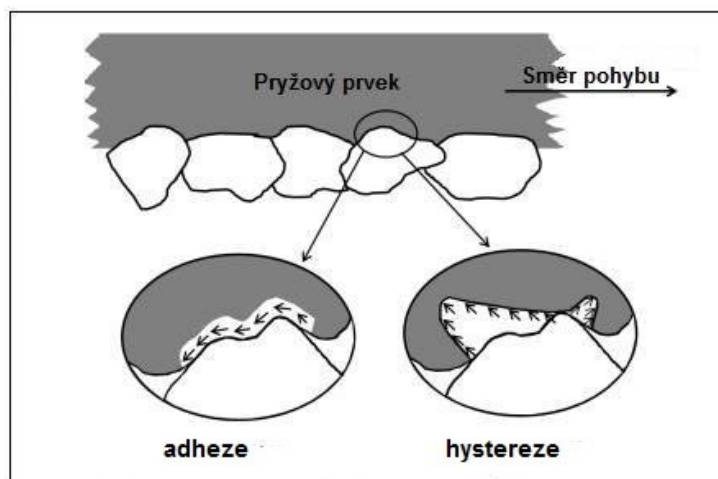


Obr. 4 Mezní situace – adhezní elipsa

Zdroj: [2]

2.3 Tření pneumatiky na vozovce

Tření pneumatiky po povrchu je výsledkem dvou hlavních sil, adheze a hystereze. Adheze je výsledkem molekulární vazby mezi pneumatikou a povrchem vozovky, zatímco hystereze je výsledkem ztráty energie v důsledku deformace pneumatiky. Když pneumatika přichází do styku s povrchem, povrchová struktura způsobuje deformaci v pryži pneumatiky. Tato deformace je potenciální energie obsažená v pneumatice. Část energie se rozptýlí ve formě tepla. Vzniklé teplo (ztráta energie) je známá jako hystereze. Obě složky, tedy hystereze a adheze se vztahují na povrchové charakteristiky a vlastnosti pneumatiky (Hall et al., 2009). Tyto dvě klíčové složky tření mezi vozovkou a pneumatikou jsou znázorněny na obrázku č. 5.

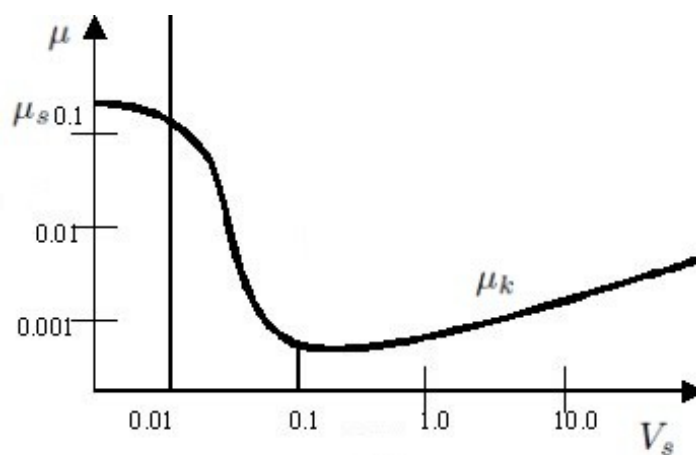


Obr. 5 Hlavní složky tření pneumatiky na vozovce

Zdroj: [6]

Adheze

Oblast skutečného kontaktu mezi pryží a pevným hrubým povrchem (vozovkou) je silně závislá na adhezní vlastnosti povrchu. V případě tvrdých materiálů s omezenými elastickými vlastnostmi, není účinek adheze možné odhalit v makroskopickém měřítku. Kontakt nastane mezi dvěma náhodně rozloženými povrchy v nepoměru a ustane okamžitě po jejich oddělení, a to bez jakéhokoliv dalšího vytváření sil. V případě pryže a dalších adhezivních materiálů hyperaktivní elastická interakce je způsobena van der Waalsovými silami. Díky své pružnosti pryže vlivem vnějšího zatížení proniká hlouběji do povrchu materiálu, který umožňuje kontakt dvou materiálů na molekulární úrovni, tak, že se stane možné, aby elektrostatické síly pracovaly mezi molekulami.



Graf 6 Stribeckova křivka

Zdroj: [7]

kde:

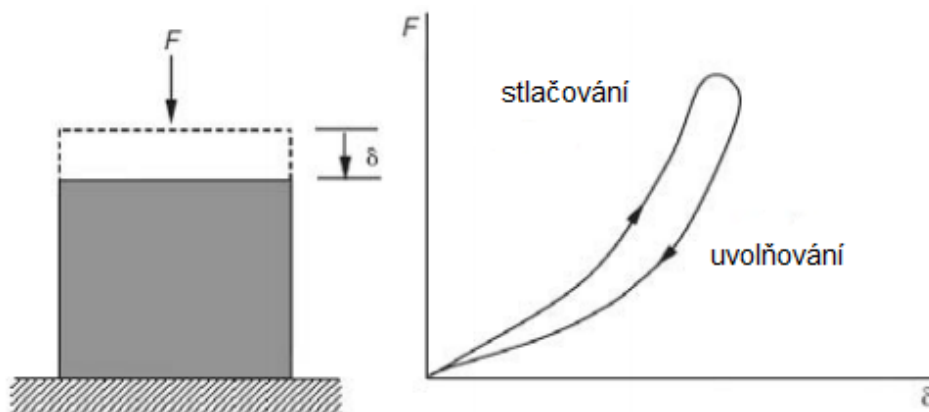
μ – koeficient tření

μ_s – koeficient statického tření

V_s – kluzná rychlost

Hystereze

Průběh proměnného zatížení gumové podložky zapříčiňuje posunutí síly F , ta má vyšší hodnotu, při zatěžování než odlehčování (obr. 6). Podobně v situaci, ve které neotáčející se pneumatika klouže po nerovném povrchu na kluzkém materiálu, a když je pneumatika vystavena dalším cyklům zatížení a odlehčení. V tomto idealizovaném případě, kde není tření během pohybu gumy na silnici, vznikají normálové síly ve směru povrchu. Součet zatěžujících sil je menší než součet sil vyvolaných při odlehčování gumy, které vytváří sílu směřující proti směru pohybu.



Obr. 6 Hystereze gumového bloku, průběh stlačení a uvolnění

Zdroj: [7]

Součinitel tření

Jeden z prvních pokusů o popis koeficientu tření pro gumu spojenou s drsným povrchem, je práce p. Grosche, která představuje výsledky testů pro různé typy vulkanizovaného kaučuku. Autor ukázal, že tření mezi pryží a povrchem je způsobeno procesem disipace energie. Tato práce ujasnila, že vztah mezi fázovým zpožděním a rychlostí klouzání odpovídá vztahu mezi třením a kluznou rychlostí. Na základě výsledků experimentů p. Grosche a p. Savkoora, vytvořili model, ve kterém popisují tvar izotermické křivky pomocí empirického vztahu:

$$\mu_k(V_s) = \mu_s + (\mu_m - \mu_s) \exp \left[- \left(\frac{h^2}{2} \right) \log^2 \left(\frac{|V_s|}{V_{max}} \right) \right] \quad (2.3.1)$$

kde:

μ_s - odpovídá statickému koeficientu tření,

μ_m - maximální hodnota tření,

$|V_s| = V_{max}$,

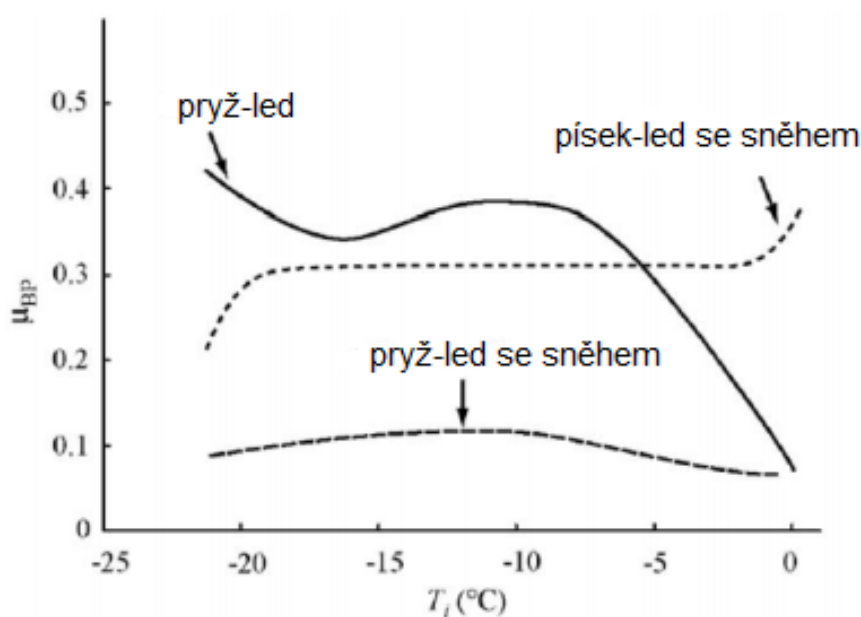
h - bezrozměrný koeficient

h je koeficient odpovídající šířce rozsahu otáček, ve kterém následují významné změny v kluzné rychlosti. Persson, který spojil navzájem hysterezi, disipaci energie, vnitřní tření a koeficient tření, vytvořil model, poskytující popis třecích jevů s geometrií povrchu popsanych pomocí teorie fraktálu.[7]

Součinitel adheze v zimních podmínkách

Zhoršení trakčních podmínek v zimním období je způsobeno zavedením dodatečných faktorů životního prostředí, sněhu nebo ledu mezi pneumatikou a povrchem vozovky. V této situaci se zmenšení nebo kompletní snížení adheze mezi běhounem pneumatiky a asfaltem stává jako dominantní tření vyplývající z hystereze. Snížení teploty pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, může způsobit řadu jevů, které mají vliv na řiditelnost vozidla. Tyto jevy jsou: náledí, kondenzace, mráz, sníh a mrznoucí déšť, sníh nebo kroupy.

V případě pohybu kola na vrstvě sněhu, v důsledku lepení zmrzlé vody na povrch běhounu, může dojít ke spojení povrchu a pneumatiky ve smyslu led - led nebo sníh - sníh, který výrazně snižuje přilnavost. To se vyskytuje v mnoha různých variantách v závislosti na teplotě, tloušťce, retenčním čase, provozu, vlhkosti a dalších faktorech. Hodnota trakčního koeficientu pro různé druhy sněhu není stejná a může se měnit v širokém rozmezí. Závislost koeficientu tření na teplotě a stavu povrchu je znázorněna v grafu č. 7 a byla stanovena experimentálně. Hodnoty koeficientu trakce vyskytující se v zimních podmínkách jsou uvedeny v tabulce 3.



Graf 7 Závislost teploty na součiniteli tření

Zdroj: [7]

Tabulka 3: Hodnoty součinitele adheze na různých površích v zimních podmínkách[7]

Styk: pneumatika - vozovka		Podmínky / hodnota součinitele adheze	
1.	led	0 °C	-25 °C
		0,054	0,019
2.	led a pneumatiky s řetězy	0 °C	-18 °C
		0,12	0,18
3.	náledí	-5 °C	-40 °C
		0,12	0,26
4.	sníh a led	0,12	0,39
		-40 °C	-8 °C
5.	sníh a led na zdrsňeném povrchu u přechodů	0,09	0,22
		záleží na množství šterku	
6.	sníh a led s pískem a šterkem	méně	více
		0,15	0,45
7.	sníh a led pokrytý čerstvým sněhem	-10 °C	-40 °C
		0,15	0,42
8.	zhutněný sníh	nezáleží tolik na teplotě	
		0,24	0,37
9.	nezhutněný sníh	0 °C	-10 °C
		0,15	0,42
10.	bílý námraza	0,45	0,58
11.	hluboký sníh	0,92	0,95
12.	suchý asfalt	-40 °C	-10 °C
		0,59	0,72

Vliv teploty na adhezi

Změny teploty nemají přímý vliv na tření pneumatiky s povrchem. Nicméně, mohou ovlivnit kluzné vlastnosti testované pneumatiky (Jayawickrama a Thomas, 1998). Jak bylo vysvětleno dříve, tření pneumatiky s povrchem je ve složení adheze a hystereze. Přílnavost je smyková síla generována na rozhraní kontaktní plochy a hystereze je způsobena ztrátami v tlumení pryže pneumatiky (Li et al., 2004). Vlivem vyšší teploty

je pneumatika pružnější, to snižuje energetické ztráty pneumatiky (hystereze) a snižuje hodnotu měrného skluzu. Zatímco některá studie uvedla, že vliv teploty je velmi nevýznamný, mnoho dalších poukazuje, že teplota významným faktorem je (Jayawickrama a Thomas, 1998). Bazlamit a Reza (2005) uvedli, že bez ohledu na strukturu povrchu, zvýšení teploty snižuje složku hystereze povrchového tření, zatímco pro adhezní prvek struktura povrchu toto chování ovlivňuje (Bazlamit a Reza 2005). S rostoucí teplotou pneumatiky a kvalitním suchým povrchem vozovky se součinitel tření zvětšuje. Zahřátí vozovky má velmi nepatrný vliv na adhezi, zatímco ochlazení pod bod mrazu může hodnotu součinitele adheze velmi snížit.

2.4 Odvalování kola po měkkém povrchu (plastickém podloží)

Zatímco při odvalování kola po vozovce (tuhém podloží), kdy se při pohybu deformuje jen pneumatika, se u odvalování kola po měkkém povrchu deformuje jak pneumatika, tak i podloží. Velikost valivých odporů je závislá na rychlosti pohybu kola, huštění a zatížení pneumatiky. Vliv rychlosti a zatížení pneumatiky je stejný jako u pohybu po vozovce, tj.:

- vlivem zvyšující se rychlosti dochází k deformaci přední části pneumatiky a tím i ke zvětšení valivého odporu
- vlivem většího huštění pneumatiky se zmenšuje její deformace a tedy součinitel valivého odporu f_0
- vlivem zvětšujícího se zatížení kola se f_0 mírně zvyšuje v důsledku změn zakřivení pláště v oblasti dosedací plochy, toto zvýšení je výraznější zejména u méně nahuštěné pneumatiky.

Minimální hodnoty valivého odporu docílíme optimálním nahuštěním pneumatiky daného druhu. Pokud optimální hodnotu nahuštění překročíme, vzrůstá valivý odpor v důsledku zvyšující se deformace zeminy. V opačném případě při nedostatečném nahuštění se hodnota valivého odporu rovněž zvětšuje, a to v důsledku deformace pneumatiky. Důležitým faktorem při řešení valivého odporu je závislost středního měrného tlaku p_s na huštění pneumatiky o tlaku p . Pneumatika na povrch působí středním měrným tlakem p_s , ten však není shodný s tlakem huštění pneumatiky p a platí, že hodnota středního měrného tlaku je vždy vyšší než tlak p v pneumatice ($p_s > p$).

Pro dosažení malé hodnoty valivého odporu je výhodné volit velký průměr kola a nízkou hodnotu měrného tlaku. Důležitou podmínkou je vytvoření mělké stopy kola

v terénu, tím zajistíme poddajnost pneumatiky v místě dotyku s půdou, v opačném případě pneumatika ztrácí pružnost a chová se jako tuhé kolo. U hnacího kola závisí jeho valivý odpor na zatížení zeminy od přenášeného momentu kola. Pokud zemina neumožní přenos takového zatížení, dochází k protlačení kola, zvětšení hloubky stopy a tím ke zvětšení odporu proti pohybu kola.

Vlivem zvětšujícího prokluzu pneumatiky v povrchu spotřebuje pneumatika větší množství energie (hysterezní a třecí ztráty). Pneumatika při prokluzu frézuje povrch a tím vytváří hlubší stopu, čímž se valivý odpor dále zvětšuje.

Určitý vliv na valivý odpor má i rychlost pohybu. Při vyšších rychlostech vytváří kolo mělkčí stopu, neboť zemina potřebuje pro svou deformaci určitý čas.

3. TEORETICKÉ ZHODNOCENÍ VHODNOSTI METODIKY PRO JEDNOSTOPÁ VOZIDLA

V předešlé části práce byly popsány metodiky měření zábrzdné vzdálenosti jak obecně, tak i jednostopých vozidel a to hlavně způsoby dle EHK a soudního znalectví. Byly uvedeny teoretické tabulkové hodnoty součinitele adheze, kterých se při těchto měření používá. Pokud se ale zamyslíme nad použitím široké škály motocyklových pneumatik, mohou se tyto hodnoty součinitele adheze výrazně lišit. Při výrobě a homologaci jednostopých vozidel se dle EHK měří brzdná dráha s použitím standardní referenční zkušební pneumatiky Americké společnosti pro zkoušení a materiály, které OSN EHK nevyklučuje, ovšem soudní znalectví jejich použití při vyhodnocování nehodových situací nijak neomlouvá. V případě takové kooperace mohou být hodnoty součinitele adheze a délky brzdné dráhy odlišné. Jako příklad můžeme uvést použití „off-roadové“ pneumatiky pro nepevný povrch na silnici a naopak použití hladké silniční pneumatiky v měkkém terénu. Z tohoto důvodu provedu experiment, který by měl prokázat velikost změny součinitele adheze pneumatik při daných podmínkách u několika povrchů a porovnat hodnoty reálného měření s teoretickými tabulkovými hodnotami, které jsou již známy a využívány.

3.1 Popis motocyklu

Stroj, na kterém bude experiment prováděn, je motocykl japonské výroby zn. Yamaha YZ 250 F, rok výroby 2008. Jde o motocykl určený pro motokrosová závody a terénní

použití. Je osazen čtyřdobým, jednoválcovým, kapalinou chlazeným atmosférickým motorem o zdvihovém objemu 250 cm^3 , výkonu 29 kW (cca 39 HP) při $10\,500\text{ min}^{-1}$ a krouticím momentu $28,4\text{ Nm}$ při $8\,500\text{ min}^{-1}$. Příprava směsi paliva se děje pomocí karburátoru Keihin. Rám je páteřový z lehkých slitin. Motocykl je vybaven hydraulickými kotoučovými brzdami zn. Nissin, vepředu dvoupístkovou o průměru kotouče 250 mm , vzadu jednopístkovou o průměru kotouče rovněž 250 mm . Rozměr předního a zadního kola je 21 a 19 palců, rozvor kol je 1475 mm a suchá hmotnost je 103 kg .

Na motocyklu byla provedena řada kontrol a výměn zajišťující co nejlepší brzdny účinek. Byly obuty pneumatiky věnované společností Mitas a.s., kompletně vyčištěná brzdová soustava, použita nová brzdová kapalina, nasazen nový přední i zadní kotouč společně s novými kvalitními brzdovými destičkami od společnosti Diafritk s.r.o.



Obr. 7 Yamaha YZ 250F

Zdroj:[11]

3.2 Popis pneumatik

Přední

Při experimentu byla použita přední pneumatika Mitas 90/90-21 54R C-21 TT. Z názvu jsou tedy patrné rozměrové charakteristiky, šířka 90 mm , profilové číslo výšky 90 , poloměr kola 21 palců, index nosnosti $54 = 212\text{ kg}$, rychlostní symbol $R = 170\text{ km/h}$, typ konstrukce TT (tube type) – dušové provedení. Rozměr figury je $13 \times 15 \times 12\text{ mm}$.



Obr. 8 Přední pneumatika

Zdroj: [autor]

Zadní

Na zadním kole byla nasazena pneumatika Mitas 120/80-19 63M C-18 TT. Tak jako u přední pneumatiky jsou z názvu patrné rozměrové charakteristiky, šířka 120 mm, profilové číslo výšky 80, poloměr kola 19 palců, index nosnosti 63 = 272 kg, rychlostní symbol R = 130 km/h, typ konstrukce TT (tube type) – dušové provedení. Rozměr figury je 20 x 20 x 15 mm.



Obr. 9 Zadní pneumatika

Zdroj: [autor]

Tyto pneumatiky jsou určeny z 80 % do terénu a z 20 % na silnici. Jsou schváleny pro provoz na pozemních komunikacích podle DOT a FIM homologace.

3.3 Metoda a popis měření

a. Popis měření

- použití měřicího přístroje VBOX Mini Racelogic (GPS měření polohy a aktuální rychlosti)

- použití pásma pro měření brzdná dráhy – pouze pro následnou kontrolu při odečítání hodnot ze softwaru Performance Tools
- výpočtové hodnoty – součinitel adheze, brzdné zpomalení, brzdná dráha
- měřený povrch - suchý asfalt, mokrá asfalt, tráva, jemný kámen, písek
- pneumatiky – endurové s homologací pro provoz na pozemních komunikacích

b. Postup měření

Příprava

- kontrola motocyklu
- kontrola tlaku pneumatik
- kontrola teplotních podmínek a povrchu
- vizuální kontrola brzd, čistoty dezénu atd.
- zaznamenání teploty, vlhkosti a dalších podmínek

Jízdy

- vjezd do měřeného pásma rychlostí V_0 , plné brzdění na úrovni značky
- rychlost $V_0 = 30 \text{ km/h}$, 60 km/h , 80 km/h
- změření brzdné vzdálenosti od značky
- každé měření v opakování na trase 7x tam a 7x zpět (eliminace odporu sklonu trasy)

c. Výstup

- naměření součinitele adheze μ , brzdné dráhy a zpomalení pro dané povrchy
- porovnání hodnot součinitele adheze na jednotlivých površích s tabulkovou hodnotou EHK a soudního znalectví

3.4 Popis měřicího přístroje VBOX Mini

VBOX Mini Racelogic je univerzální výrobek obsahující 10 Hz GPS přijímač, vestavěnou GPS anténu, datovou SD kartu a podsvícený LCD displej. Výborně přizpůsobitelný a vybavený funkcemi. VBOX je oblíbený u redaktorů testovacích časopisů a zkušebních společností po celém světě. VBOX mini poskytuje velmi rychlý a pohodlný způsob získání přesných výsledků výkonových parametrů. Zobrazuje maximální a průměrnou rychlost v rozděleném načasování ve voze přímo na displeji v reálném čase. Je také skvělým drobným zapisovačem dat. Další výhodou VBOX

Mini je volitelný vstupní/výstupní modul, který je k dispozici pro sběr dat z externích zdrojů signálu, jako je poloha škrticí klapky nebo otáčky motoru. Data jsou zaznamenávána na paměťovou kartu, výstup může být přímý do počítače v reálném čase pro sledování živého obrazu, který poskytuje přibalená VBOX nástrojová softwarová podpora.



Obr. 10 VBOX Mini Racelogic

Zdroj:[10]

Charakteristiky

- přesnost GPS záznamu dat 10 Hz
- interní měření odchylek úhlů
- RS232 sériové rozhraní
- vnitřní a vnější anténa GPS
- LCD displej pro zobrazení aktuálních dat a výsledků
- USB podpora
- volitelný vstupní modul k dispozici pro sběr dat dalších analogových a digitálních signálů
- zápis dat přímo na SD kartu

4. EXPERIMENTÁLNÍ VYHODNOCENÍ ZÁBRZDNÉ DRÁHY MOTOCYKLU

Brzdná dráha byla při experimentu měřena dvěma způsoby. Primárním způsobem, ze kterého vychází všechny naměřené brzdné vzdálenosti ve výpočtech, je použití data loggeru VBOX Mini Racelogic. Tento měřicí přístroj byl umístěn v přední části motocyklu. Přístroj zaznamenává data na paměťovou kartu, tato data byla následně zpracována pomocí softwaru Performance Tools. Druhým způsobem měření brzdné dráhy bylo použití 50 m dlouhého pásma, kde počátek byl umístěn na značku, na které jsem začal brzdit. Tento způsob měl hlavně kontrolní účel při odečítání brzdné dráhy z grafů v Performance Tools, tak aby nebyla odečtena výrazně odlišná hodnota způsobená např. ztrátou signálu z GPS satelitů přístroje.

V následující části jsou pro každý povrch uvedeny brzdné vzdálenosti z rychlosti 60 km/h, průběh jízd a detail brzdění v grafu z Performance Tools, teploty, podmínky při měření, fotodokumentace povrchů a řidiče na motocyklu při brzdění.

4.1 Tráva

Podmínky

- teplota vzduchu 17 °C, jasno, tráva suchá a tvrdé suché podloží, bezvětrí
- tlak v pneumatikách 0,85 bar



Obr. 11 Detail povrchu tráva

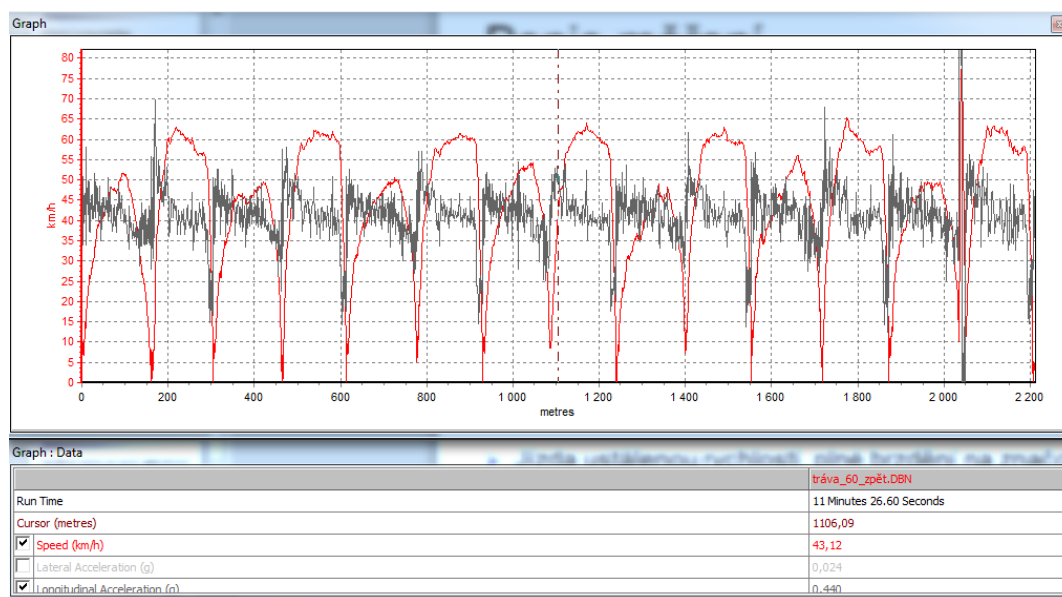
Zdroj:[autor]



Obr. 12 Brzdění na trávě z rychlosti 60 km/h

Zdroj:[autor]

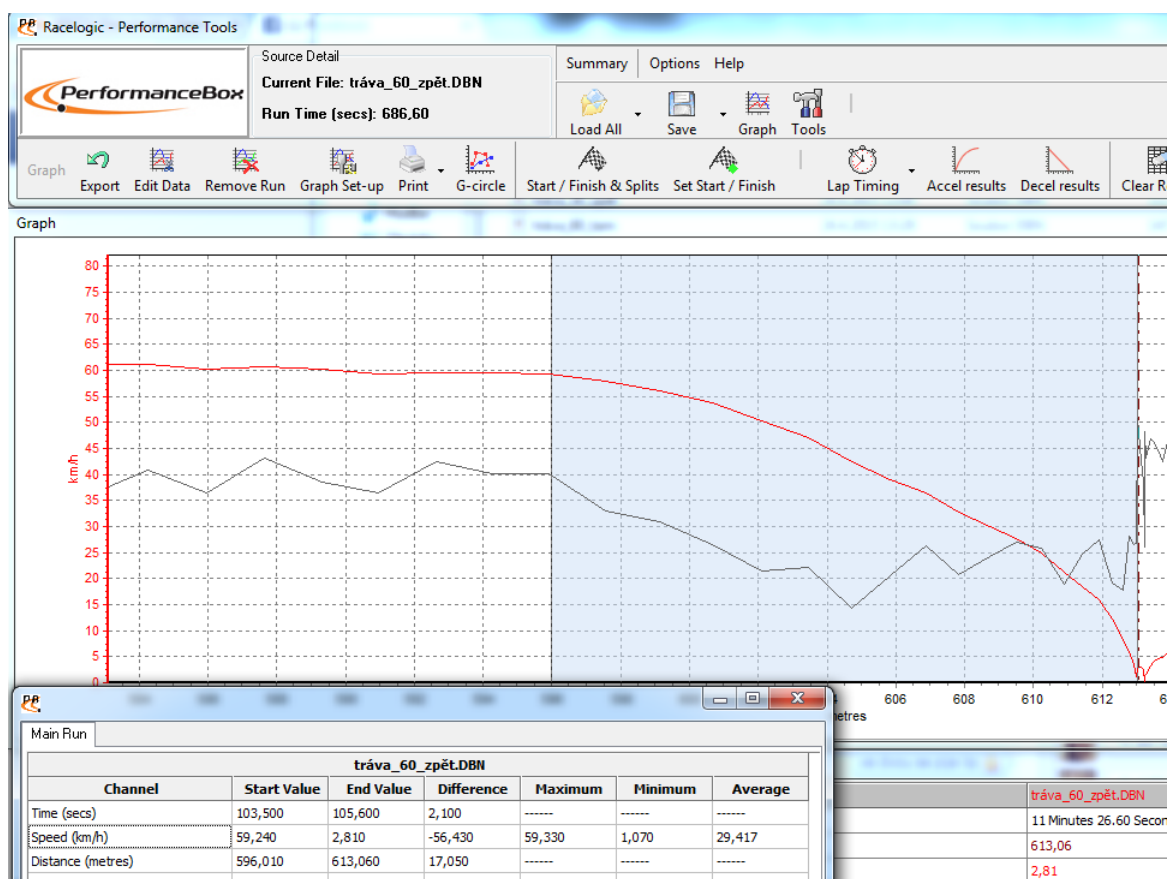
Na obrázku č. 12 je vidět přenesení váhy na přední kolo, stlačení předních vidlic a odlehčení zadní části motocyklu.



Graf 8 Průběh jízdy na trávě v jednom směru

Zdroj:[autor]

Vodorovná osa grafu reprezentuje ujetou vzdálenost v metrech, svislá osa reprezentuje rychlost v km/h. Červená křivka znázorňuje průběh rychlosti v závislosti na vzdálenosti. Šedá křivka znázorňuje podélné zrychlení / zpomalení v $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.



Graf 9 Detail 2. brzdění na trávě

Zdroj:[autor]

Z detailu je patrný počátek a konec brzdění, který ohraničuje světle modrá oblast. Tabulka ve spodní levé části popisuje počáteční a koncovou rychlost, počáteční a koncovou vzdálenost a jejich difference. Rozdíl počáteční a koncové vzdálenosti znamená brzdnou dráhu v metrech, která je poté zapisována do tabulky v MS Excel a použita k výpočtům brzdného zpomalení a součinitele adheze.

Tabulka 4: Brzdné dráhy a teploty při 60 km/h na trávě

Tráva 60 km/h	1	2	3	4	5	6	7
Brzdná dráha tam [m]	15,62	15,53	14,92	16,23	17,30	17,69	16,98
Brzdná dráha zpět [m]	15,89	16,99	14,67	15,13	14,73	16,54	15,72
Teplota přední pneumatiky [°C]	Před	22,8	Po	20,8	Rozdíl	-2	
Teplota zadní pneumatiky [°C]		23,8		25,1		1,3	
Teplota předního kotouče [°C]		21,8		34,9		13,1	
Teplota zadního kotouče [°C]		21,3		22,4		1,1	

V tabulce 4 jsou zapsány brzdné vzdálenosti 7 jízd ve dvou směrech a také teploty pneumatik a kotoučů před a po jednom brzdění. Z teplot pneumatik lze posoudit míru tření s povrchem a přenos jejich vzájemných teplot. Z rozdílů teplot kotoučů je zřejmé, že přední brzda je mnohonásobně více využita než brzda zadní. Je to dáno přenesením váhy na přední kolo, to je více zatíženo než zadní, v přední brzdě vzniká větší třecí síla a tím se přední kotouč zahřívá rychleji.

4.2 Písek

Podmínky

- teplota vzduchu 17 °C, jasno, písek suchý, od hloubky cca 15 cm vlhký, bezvětří
- tlak v pneumatikách 1,1 bar



Obr. 13 Detail povrchu písek

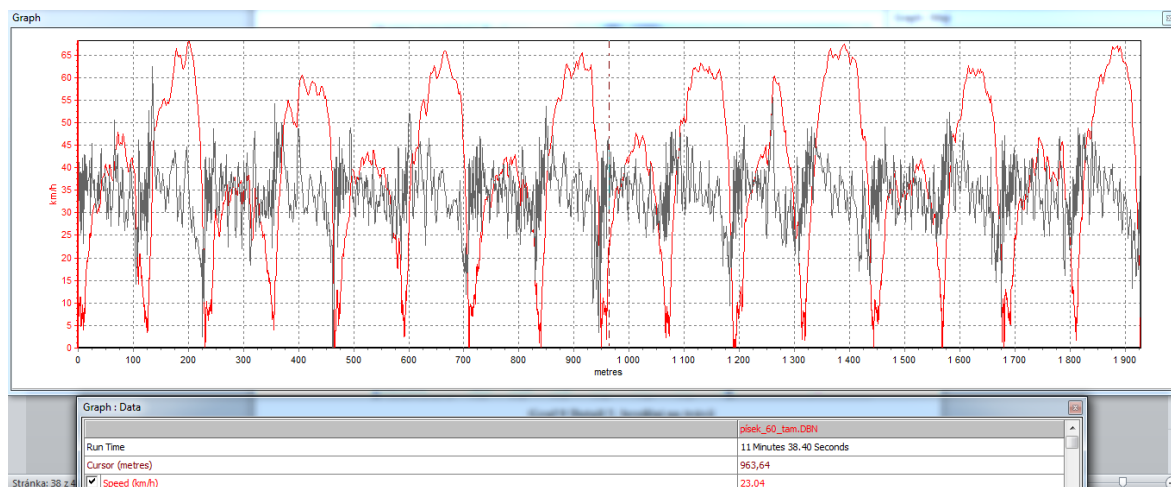
Zdroj:[autor]



Obr. 14 Brzdění na písku z rychlosti 60 km/h

Zdroj:[autor]

Z obrázku č. 14 je možné vidět, jak se přední zatížené kolo boří do písku, čím se zvětšuje odpor valení kola, který je nutno do výpočtu skutečného součinitele adheze zahrnout.



Graf 10 Průběh jízdy na písku

Zdroj:[autor]



Graf 11 Detail brzdění na písku z rychlosti 60 km/h

Zdroj:[autor]

Z tohoto detailu je vidět, že zhruba v polovině brzdění došlo nejspíše ke skluzu předního kola, ztrátě stability jezdce a tím ke zmírnění brzdného účinku.

Tabulka 5: Brzdné vzdálenosti a teploty na písku

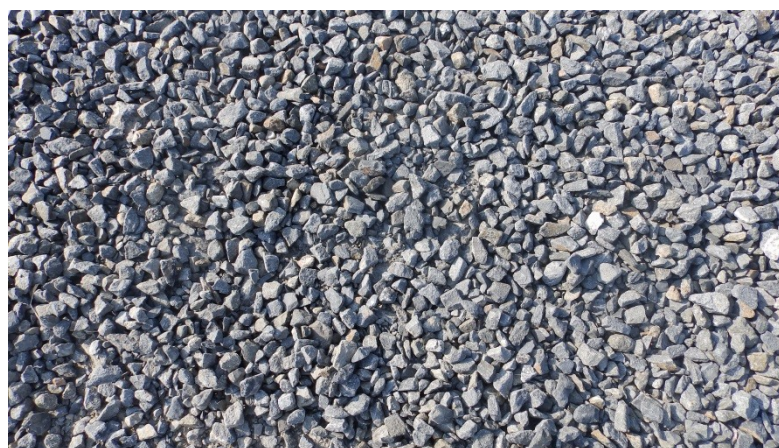
Písek 60 km/h	1	2	3	4	5	6	7
Brzdná dráha tam [m]	12,34	16,21	16,89	19,17	21,85	19,89	17,11
Brzdná dráha zpět [m]	15,25	18,63	20,04	16,88	19,37	18,55	17,38
Teplota přední pneumatiky [°C]	Před	33,0	Po	19,5	Rozdíl	-13,5	
Teplota zadní pneumatiky [°C]		35,0		27,0		-8,0	
Teplota předního kotouče [°C]		20,0		31,6		11,6	
Teplota zadního kotouče [°C]		21,0		22,4		1,4	

Jelikož se pneumatiky při odvalování do povrchu boří, můžeme z rozdílu teplot pneumatik usoudit, že jsou ochlazovány vlhkým studenějším pískem, který není tak dokonale prohřátý od slunce jako vrstva písku na povrchu.

4.3 Makadam

Podmínky

- teplota vzduchu 17 °C, skoro jasno, povrch suchý makadam se zhutněným podložím, bezvětrí
- tlak v pneumatikách 0,85 bar

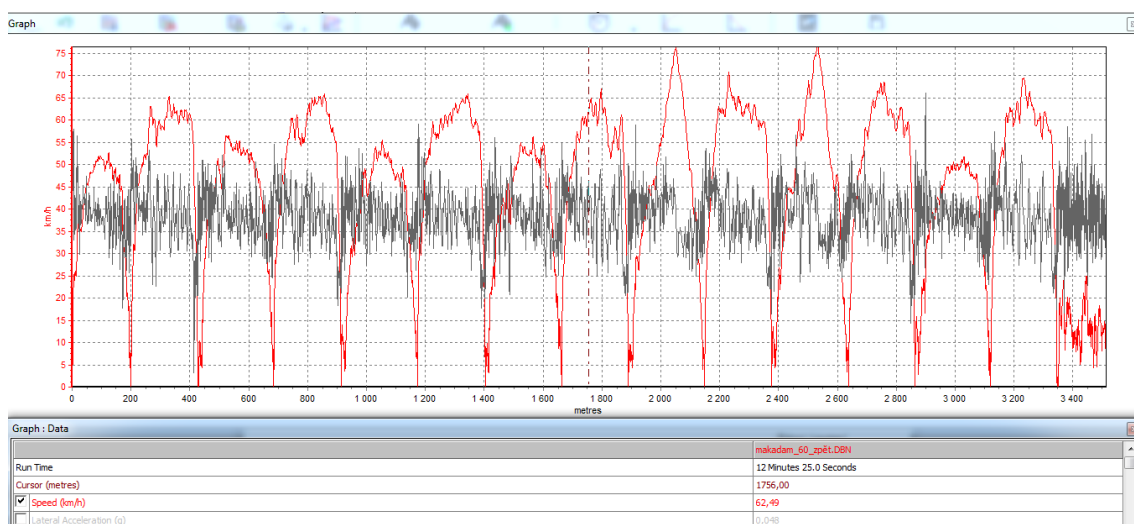
**Obr. 15 Detail povrchu makadam**

Zdroj:[autor]



Obr. 16 Brzdění na povrchu makadam z rychlosti 60 km/h

Zdroj:[autor]



Graf 12 Průběh série brzdění na povrchu makadam

Zdroj:[autor]



Graf 13 Detail brzdění na povrchu makadam

Zdroj:[autor]

Tabulka 6: Brzdné vzdálenosti a teploty při brzdění na povrchu makadam

Makadam 60 km/h	1	2	3	4	5	6	7
Brzdná dráha tam [m]	16,95	18,76	17,21	18,00	17,88	18,67	15,57
Brzdná dráha zpět [m]	16,9	17,6	18,07	18,95	19,54	16,97	19,67
Teplota přední pneumatiky [°C]	Před	26,3	Po	25,6	Rozdíl	-0,7	
Teplota zadní pneumatiky [°C]		30,6		34,8		4,2	
Teplota předního kotouče [°C]		26,3		39,4		13,1	
Teplota zadního kotouče [°C]		20,9		26,3		5,4	

4.4 Mokřý asfalt

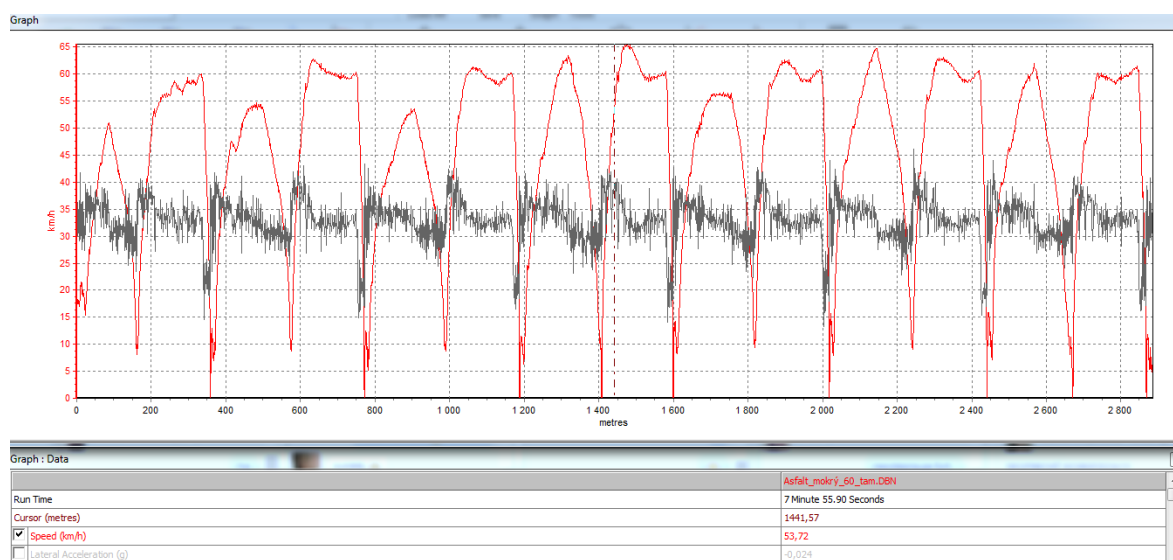
Podmínky

- teplota vzduchu 17 °C, zataženo, mírný boční vítr
- tlak v pneumatikách 0,8 bar



Obr. 17 Brzdění na mokřém asfaltu z rychlosti 60 km/h

Zdroj:[autor]



Graf 14 Průběh jízdy na mokřém asfaltu

Zdroj:[autor]



Graf 15 Detail brzdění na mokrém asfaltu

Zdroj:[autor]

Tabulka 7: Brzdné vzdálenosti a teploty na mokrém asfaltu

Asfalt mokrý 60 km/h	1	2	3	4	5	6	7
Brzdná dráha tam [m]	19,44	18,36	17,02	17,38	19,03	16,70	20,41
Brzdná dráha zpět [m]	21,46	18,20	19,20	20,50	21,60	20,20	22,10
Teplota přední pneumatiky [°C]	Před	23,1	Po	18,7	Rozdíl	-4,4	
Teplota zadní pneumatiky [°C]		24,9		23,2		-1,7	
Teplota předního kotouče [°C]		20,6		55,3		34,7	
Teplota zadního kotouče [°C]		20,5		28,3		7,8	

4.5 Suchý asfalt

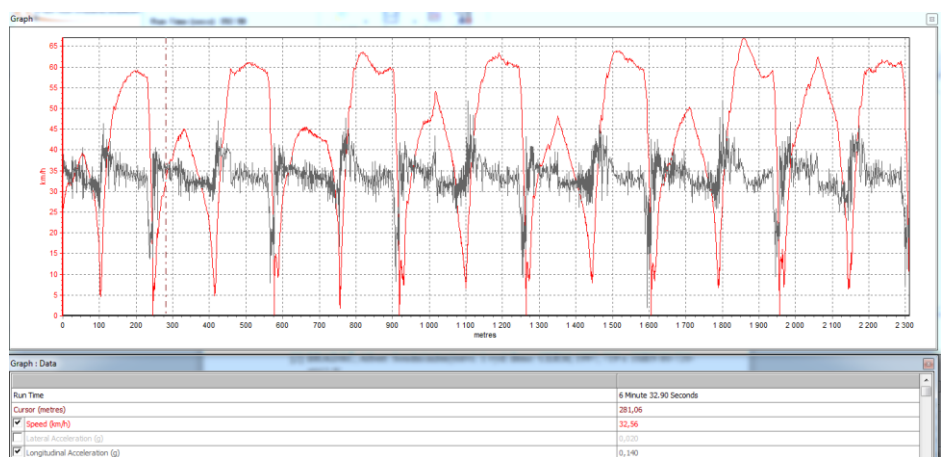
Podmínky

- teplota vzduchu 17 °C, zataženo, mírný boční vítr, teplota povrchu 25 °C
- tlak v pneumatikách 0,8 bar



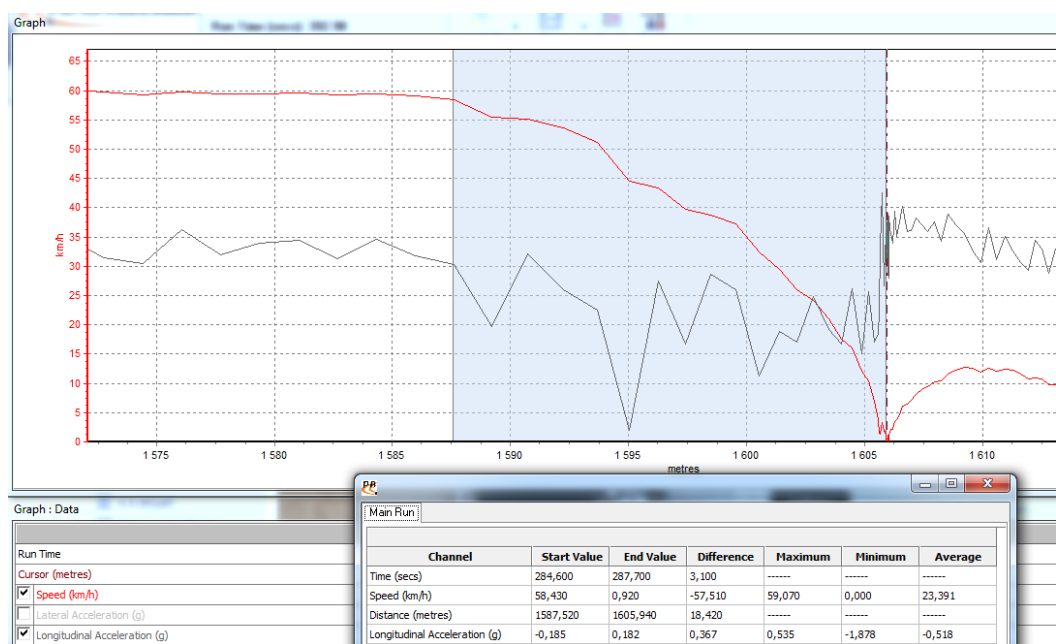
Obr. 18 Detail povrchu suchý asfalt

Zdroj:[autor]



Graf 16 Průběh série jízd na suchém asfaltu

Zdroj:[autor]



Graf 17 Detail brzdění na suchém asfaltu

Zdroj:[autor]

Z grafu 17 můžeme usoudit, že dochází k několika mírným skluzům předního kola, protože křivka snižující se rychlosti není úplně hladká.

Tabulka 8: Brzdné vzdálenosti a teploty na suchém asfaltu

Asfalt suchý 60 km/h	1	2	3	4	5	6	7
Brzdná dráha tam [m]	15,66	15,82	14,92	15,54	15,19	16,05	16,67
Brzdná dráha zpět [m]	16,17	15,83	16,97	17,02	15,9	16,09	17,16
Teplota přední pneumatiky [°C]	Před	23,1	Po	30,8	Rozdíl	7,7	
Teplota zadní pneumatiky [°C]		24,9		34,7		9,8	
Teplota předního kotouče [°C]		20,6		55		34,4	
Teplota zadního kotouče [°C]		20,5		25,6		5,1	

4.6 Vyhodnocení zábrzdných drah

Tabulka 9: Brzdné dráhy na různém povrchu

Povrch	Průměr brzdné dráhy [m]
Asfalt suchý	16,07
Asfalt mokrý	19,40
Písek	17,83
Makadam	17,91
Tráva	16,00

Nejkratší brzdná dráha z rychlosti 60 km/h je na trávě. Velký vliv má na to vzájemná deformace pneumatiky a povrchu. Naopak nejdelší brzdná dráha byla změřena na mokřém asfaltu, kdy se vysoká figura pneumatiky nedokáže vmáčknout do povrchu a styčná plocha je tak menší než u poddajného měkkého terénu.

5. INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ A SROVNÁNÍ TABULKOVÝCH HODNOT SOUČiniteLE ADHEZE

Před interpretací a porovnáním výsledků zde ještě objasním použité druhy součinitele adheze a způsob jejich výpočtu včetně dalších důležitých okolností, které jsou s nimi spojeny, tak aby bylo zřejmé, jak jsem se k daným hodnotám dopracoval.

5.1 Teoretický součinitel adheze

Teoretický tabulkový součinitel adheze používá jak EHK OSN, tak soudní znalectví. Ve výpočtu tohoto součinitele nejsou zahrnuty odpory při pohybu vozidla, zejména odpor vzduchu a valení, protože znění předpisů EHK žádné odpory nezmiňuje. Tabulka s hodnotami součinitele adheze je uvedena již v kapitole 2.2 e).

Způsob výpočtu teoretického součinitele adheze je detailně uveden již v kapitole 2.1, kde se dostáváme ke vztahu:

$$Z = \frac{0,56}{t} \quad (5.1.1)$$

kde:

Z – poměrné brzdné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

0,56 – přepočet snížení rychlosti ze 40 km/h na 20 km/h vydělený tíhovým zrychlením

t – čas [s]

Největší hodnota $Z=K$.

K – teoretický součinitel adheze [-]

5.2 Výpočtový součinitel adheze

Výpočtový součinitel adheze je počítán také se zanedbáním odporů stejně jako součinitel teoretický. Princip výpočtu je stejný, ale vycházíme z jiného vztahu. Při kontrole bylo zjištěno, že výsledky z obou vztahů jsou velmi podobné, mnohdy stejné.

Vycházíme z těchto vztahů:

$$F_T \geq F_S \quad (5.2.1)$$

kde:

F_T – síla tření [N]

F_S – síla setrvačná [N]

Po dosazení dostáváme:

$$m \cdot g \cdot \mu_v \geq m \cdot a \quad (5.2.2)$$

kde:

m – hmotnost [kg]

g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

μ_v – výpočtový součinitel adheze [-]

a – brzdné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Po vytknutí:

$$\mu_v \geq \frac{m \cdot a}{m \cdot g} = \frac{a}{g} \quad (5.2.3)$$

Vztah pro výpočet brzdného zpomalení:

$$a = \frac{V_0^2 - V^2}{2 \cdot s} \quad (5.2.4)$$

kde:

V_0 – počáteční rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

V – koncová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

s – brzdná dráha [m]

5.3 Skutečný součinitel adheze

Pokud chceme zjistit skutečnou hodnotu součinitele adheze, musíme do výpočtu zahrnout i odpor vzduchu a odpor valení. Odpor valení je poměrně důležitý, neboť jeho velikost u měkkých povrchů je značná. Součinitel adheze, který ve výpočtu obsahuje i odpory, jsem tedy při mém experimentu nazval vypočteným skutečným součinitelem adheze.

Vycházíme z těchto vztahů:

$$F_S = F_b + O_f + O_v \quad (5.3.1)$$

kde:

F_S – síla tření [N]

F_b – brzdná síla [N]

O_f – odpor valení [N]

O_v – odpor vzduchu [N]

Odpor valení:

$$O_f = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f \quad (5.3.2)$$

kde:

m – hmotnost [kg]

g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

α – sklon trasy [$^\circ$]

f – součinitel odporu valení [-], hodnoty ze zdroje [4]

Odpor vzduchu:

$$O_v = \frac{1}{2} \rho \cdot v_x^2 \cdot c_x \cdot S_x \quad (5.3.3)$$

kde:

ρ – hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

v_x – náporová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

c_x – součinitel odporu vzduchu [-]

S_x – čelní plocha vozidla [m^2], hodnoty ze zdroje: [12]

Pro zjednodušení praktických výpočtů předpokládáme běžné atmosférické podmínky a pak je možno vztah upravit podle [3]:

$$O_v = 0,05 \cdot c_x \cdot S_x \cdot V^2 \quad (5.3.4)$$

kde:

V – náporová rychlost [km/h]

Po dosazení a vyjádření dostáváme:

$$\mu_s = \frac{a \cdot m - O_f - O_v}{m \cdot g} \quad (5.3.5)$$

kde:

μ_s – vypočtený skutečný souč. adheze [-]

a – brzdné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

m – hmotnost [kg]

O_f – odpor valení [N]

O_v – odpor vzduchu [N]

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

5.4 Porovnání vypočtených a tabulkových hodnot součinitele adheze

Tabulka 10: Součinitelé adheze

Povrch	Teoretický souč. adheze
Asfalt suchý	0,6 - 0,9
Asfalt mokrý	0,3 - 0,8
Makadam suchý	0,6 - 0,8
Tráva suchá	0,4 - 0,6
Písek	0,2 - 0,4

Povrch	Výpočtový souč. adheze	Průměr	Směrodatná odchylka
Asfalt suchý	0,78 - 0,92	0,851	0,074
Asfalt mokrý	0,68 - 0,82	0,753	0,072
Makadam suchý	0,62 - 0,82	0,720	0,104
Tráva suchá	0,77 - 0,92	0,847	0,074
Písek	0,62 - 0,89	0,752	0,135

Povrch	Skutečný souč. adheze	Průměr	Směrodatná odchylka
Asfalt suchý	0,76 - 0,91	0,832	0,074
Asfalt mokrý	0,66 - 0,81	0,735	0,071
Makadam suchý	0,58 - 0,79	0,683	0,103
Tráva suchá	0,64 - 0,79	0,713	0,073
Písek	0,42 - 0,68	0,550	0,134

V tabulce 10 je přehled teoretických tabulkových hodnot součinitele adheze používaných v EHK i soudním znalectví a hodnot součinitelů adheze zjištěných při experimentu v této bakalářské práci. Rozsah jednotlivých součinitelů adheze byl stanoven podle průměru a použití směrodatné odchylky $\pm 1\sigma$. Můžeme tedy říct, že všechny dílčí naměřené hodnoty součinitele adheze pro daný povrch jsou z 68,27 % obsaženy v tomto rozsahu.

6. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala posouzením změny součinitele adheze u plášťů určených pro měkké povrchy u motocyklů.

V teoretické rešerši byly popsány metody zjišťování zábrzdných vzdáleností a součinitele adheze. Mezi dvě nejčastěji používané metodiky spadají způsoby dle EHK OSN a soudního znaleství, které využívají stejné tabulkové teoretické hodnoty součinitele adheze.

Následně bylo vysvětleno tření pneumatiky po povrchu a jeho hlavní složky. Byla popsána adheze a řada vlivů, které součinitel adheze ovlivňují. Dále byl zhotoven popis měření, včetně měřicího přístroje, popis motocyklů, popis použitých pneumatik a povrchů. V další části práce byla zhodnocena vhodnost metodik, kterých se při této problematice využívá. Tyto metodiky nerozlišují druh použitých pneumatik na vozidle, které výrazně mění své vlastnosti při změně povrchu, tedy i součinitel adheze. Tímto bylo v práci navázáno na experiment měření součinitele adheze při použití endurových pneumatik. Cílem práce bylo zjistit a porovnat hodnoty součinitele adheze pro daný typ pneumatik.

Experiment byl prováděn na 5 površích. Na trávě, suchém a mokřém asfaltu bylo provedeno brzdění z rychlosti 30 km/h, 60 km/h a 80 km/h. Na písku a kamení bylo provedeno brzdění jen z rychlosti 30 km/h a 60 km/h z důvodů nedostatečné rozlohy testovaného povrchu. Hodnoty byly naměřeny pomocí přístroje VBOX Racelogic Mini a následně byla data vypočítána a zpracována ve formě tabulek v programu MS Excel.

Výsledky měření částečně odpovídají očekávání, kdy bylo předpokládáno, že při použití endurových pneumatik bude součinitel adheze na asfaltu nižší než uvedený teoretický součinitel a u travnatého povrchu bude hodnota naopak vyšší. Součinitel adheze na měkkém povrchu je výrazně závislý na konstrukci a velikosti dezénu pneumatik a rovněž na vzájemné deformaci pneumatiky s povrchem. U tvrdého povrchu je pak závislý větší mírou i na složení běhounové směsi. Největší rozdíl při porovnání součinitele adheze byl zjištěn u měkkého povrchu, jako je tráva a písek. Poměrně malým překvapením bylo zjištění, že při použití „off-roadových“ pneumatik na asfaltu hodnota součinitele adheze výrazně neklesla a její velikost je srovnatelná s tabulkovou teoretickou hodnotou.

Výsledek práce poukazuje na nedostatek používaných hodnot součinitele adheze v soudním znalectví a stanovuje přesnější rozsah součinitele adheze, který je u některých povrchů používán v příliš rozsáhlých mezích. Při vyhodnocování nehodových situací by se měl brát ohled na druh použitých pneumatik na daném povrchu, jelikož výrazně ovlivňují vlastnosti jízdy motocyklu, a následném použití odpovídajícího součinitele adheze do výpočtu brzdné dráhy. Experiment byl proveden s co největší pečlivostí, nicméně výsledek může být mírně ovlivněn několika faktory, jako jsou např. zkušenost jezdce, maximální výkon brzd, nastavení podvozku motocyklu a jiné. Veškeré výpočty a tabulky jsou k dispozici v příloze na CD.

7. PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat Ing. Jakubu Šmirausovi za odborné vedení, poskytování cenných rad a věnovaný čas při konzultacích. Jeho zkušenosti a rady byly cenným podkladem pro vypracování mé bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Karlu Špaňhelovi ze společnosti Mitas a.s. za spolupráci a poskytnutí sady testovaných pneumatik. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat své rodině za psychickou a finanční podporu.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Česká republika. *Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel kategorie L z hlediska brzdění*, EHK OSN. In. Praha, 1997.
- [2] BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1.vyd. Brno: CERM, 1997, 719 s. ISBN 80-720-4057-X.
- [3] MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy I*. 2. přeprac. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 213 s. ISBN 80-05-00392-7
- [4] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [5] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 355 s. ISBN 80-239-1601-7.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [6] FLINTSCH, G. W. a MCGHEE K. *The Little Book of Tire Pavement Friction*. [Http://www.apps.vtti.vt.edu/](http://www.apps.vtti.vt.edu/)[online]. 2012 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: http://www.apps.vtti.vt.edu/1-pagers/CSTI_Flintsch/The%20Little%20Book%20of%20Tire%20Pavement%20Friction.pdf
- [7] WALUŚ, K. a OLSZEWSKI Z. *Analysis Of Tire-road Contact Under Winter Conditions*. [Http://www.iaeng.org/](http://www.iaeng.org/)[online]. 2011 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: http://www.iaeng.org/publication/WCE2011/WCE2011_pp2381-2384.pdf
- [8] *ADHEZE PNEUMATIK A JEJÍ MĚŘENÍ* [online]. Praha, 2013 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: http://k622.fd.cvut.cz/downloads/bp_vopava_2013.pdf. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
- [9] Yamaha YZ 250F. [Http://www.motorkari.cz](http://www.motorkari.cz) [online]. 2008 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motokatalog/yamaha/yamaha-yz-250f.html>
- [10] VBOX Mini. [Https://www.vboxautomotive.co.uk](https://www.vboxautomotive.co.uk) [online]. 2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/data-loggers/vbox-mini>
- [11] Yamaha_YZ250F_2008. [Http://www.2ri.de](http://www.2ri.de) [online]. 2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: http://www.2ri.de/Images/Big/0/Yamaha_YZ250F_2008.jpg
- [12] *Motocykl: Speedbiky versus sportbiky*. Praha: MOTOR-PRESSE BOHEMIA s.r.o, 2011

9. SEZNAM PŘÍLOH

9.1 Tištěná příloha

Popis měřicího přístroje VBOX Racelogic Mini

VBOX Mini Racelogic je univerzální výrobek obsahující 10 Hz GPS přijímač, vestavěnou GPS anténu, datovou SD kartu a podsvícený LCD displej. Výborně přizpůsobitelný a nabitý funkcemi. VBOX je velmi oblíbený u redaktorů testovacích časopisů a zkušebních společností po celém světě. VBOX mini poskytuje velmi rychlý a pohodlný způsob získání přesných výsledků výkonových parametrů. Zobrazuje maximální a průměrnou rychlost v rozděleném načasování ve voze přímo na displeji v reálném čase. Je také skvělým drobným zapisovačem dat. Dalším výhodou VBOX Mini je volitelný vstupní/výstupní modul, který je k dispozici pro sběr dat z externích zdrojů signálu, jako je poloha škrtků klapky nebo otáčky motoru. Data jsou zaznamenávána na paměťovou kartu, výstup může být přímý do počítače v reálném čase pro sledování živého obrazu, který poskytuje přibalená VBOX nástrojová softwarová podpora.



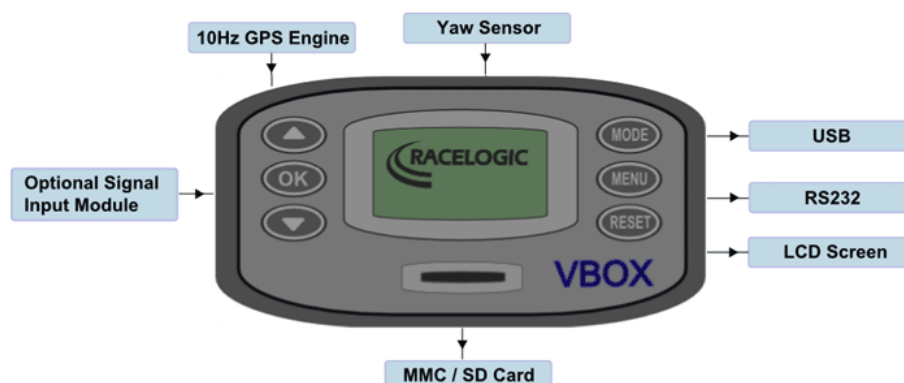
Zdroj:[10]

Obr. 19 VBOX Mini Racelogic

Charakteristiky

- přesnost GPS záznamu dat 10 Hz
- interní měření odchylek úhlů
- RS232 sériové rozhraní
- vnitřní a vnější anténa GPS
- LCD displej pro zobrazení aktuálních dat a výsledků

- USB podpora
- volitelný vstupní modul k dispozici pro sběr dat dalších analogových a digitálních signálů
- zápis dat přímo na SD kartu



Zdroj:[10]

Obr. 20 Vstupní a výstupní moduly VBOX Mini

Parametry

VBOX Mini vypočítává tyto následující parametry z GPS přijímače 10x za sekundu:

- čas
- pozici
- rychlost
- vzdálenost
- azimut
- sílu při zatáčení
- sílu při zrychlení/zpomalení
- výšku
- vertikální rychlost
- rychlost stáčení

Specifikace

Rychlost

- přesnost: 0,2 Km/h
- jednotky: Km/h, Mph
- obnovovací frekvence: 10 Hz
- max. rychlost: 1000 Mph
- min. rychlost: 0,1 Km/h
- přesnost zaznamenání dat: 0,01 Km/h

Vzdálenost

- přesnost: 0,05 % (<50cm na 1 km)
- jednotky: metry, stopy
- obnovovací frekvence: 10 Hz
- přesnost zaznamenání dat: 1cm

Absolutní pozice

- přesnost: 5m
- výšková přesnost: 10m
- přesnost zaznamenání dat: 1cm

Akcelerace

- přesnost: 1%
- maximum: 4G
- přesnost zaznamenání dat: 0,01G

Čas zrychlení/zpomalení

- přesnost zaznamenání dat: 0,01s
- přesnost: 0,1s

Měření času kola

- přesnost zaznamenání dat: 0,01s
- přesnost: 0,1s

Rozměry a teploty

- hmotnost: 225 gramů
- velikost: 113mm x 63mm x 93mm
- provozní teplota: -20°C - +50°C
- skladovací teplota: -30°C - +80°C

Azimut

- přesnost zaznamenání dat 0,01°
- přesnost: 0,2°

Paměť

- typ: SD nebo SDHC karta
- nahrávací čas: záleží na kapacitě karty

Napájení

- rozsah vstupního napětí: 6 – 28V DC
- proud: běžně 100mA

9.2 Přílohy na CD

Složka Tihelka_Jiří_Přílohy.zip

- obsahuje složku Racelogic a Pásmo, ve kterých jsou naměřené hodnoty a výpočty v tabulkovém excelovském souboru .xlsx a soubory pro software Performance Tools
- obsahuje složku Foto+Video